

Diplomová práce
Matěj Martínek

Design cyklistické přilby založené na 3D skenování a 3D tisku
The Design of a Cycling Helmet Based on 3D Scanning and 3D Printing

Vedoucí práce:
MgA. Petr Nenička

Konzultant práce:
Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Matěj Martínek**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 3909T001 Konstrukční a procesní inženýrství
Specializace: 60 Průmyslový design
Téma: Design cyklistické přilby založené na 3D skenování a 3D tisku
The Design of a Cycling Helmet Based on 3D Scanning and 3D Printing
Jazyk vypracování: čeština

Zásady pro vypracování:

Navrhnete design cyklistické přilby založený na moderní individualizované výrobě (3D skenování a 3D tisk) s integrovanými prvky chytré elektroniky. Zpracujte řešerši v oblasti designu, konstrukce a 3D tisku cyklistických přileb, 3D skenování, chytré nositelné elektroniky apod. Koncepty možných designérských řešení rozpracujte kresebně (skici) a vybrané koncepty dále rozved'te ve virtuálním prostoru (NURBS modelář). V rámci finálního konceptu vytvořte somatografickou studii, vizualizace (zásuvný modul NURBS modeláře), návrh konstrukčního řešení (CAD systém) podložený nezbytnými výpočty, výkres sestavení (min. A1) a dílenský výkres vybraného dílu. K obhajobě připravte prezentaci, plakát (min. A2) a fyzický model celku nebo části ve vhodném měřítku. Bližší technickou specifikaci určí zadavatel – INVENT MEDICAL GROUP, s. r. o.

Seznam doporučené odborné literatury:

ČSN 01 6910. *Úprava dokumentů zpracovaných textovými procesory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014. 76 s. Třídící znak 01 6910.
ČSN ISO 690. *Informace a dokumentace – Pravidla pro bibliografické odkazy a citace informačních zdrojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 40 s. Třídící znak 01 0197.
DREYFUSS, Henry. *The Measure of Man: Human Factors in Design*. Rev. and exp. 2nd ed. New York: Whitney Library of Design, 1967. 54 s. ISBN 978-0-8230-7370-2.
PAULY, Jana a Jiří HULÁK. *DESIGN PRO: Český průmyslový design 1990–2010, Czech Industrial Design 1990–2010*. Roztoky u Prahy: Jindřich Dušek – Signum, 2010. 334 s. ISBN 978-80-903531-0-7.
TEDESCHI, Arturo a Fulvio WIRZ. *AAD_Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper*. Brienza: Le Penseur Publisher, 2014. 496 s. 978-88-95315-30-0.
VŠB-TUO, FAKULTA STROJNÍ. *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2015–. Identifikační znak FS_SME_05_003. Dostupné z: http://iso.fs.vsb.cz/SME/FS_SME_05_003_VypracovaniDPBP.pdf

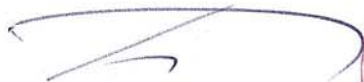
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **MgA. Petr Nenička**

Konzultant diplomové práce: Ing. Tomáš Kubín, Ph.D.

Datum zadání: 20.12.2019

Datum odevzdání: 18.05.2020



doc. Ing. Jiří Fries, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě

.......... podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě
Jméno a příjmení autora práce:
Adresa trvalého pobytu autora práce:

.....
Matěj Martínek
Březinova 17, 746 01 Opava

Anotace diplomové práce

MARTÍNEK, M. *Design cyklistické přilby založené na 3D skenování a 3D tisku: Diplomová práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra výrobních strojů a konstruování, 2020, 78 stran. Vedoucí práce: Mga. Petr Nenička

Diplomová práce se zabývá návrhem cyklistické přilby založené na 3D skenování a 3D tisku. V úvodu se zaměřuje na řešení cyklistických přileb využívajících speciálních struktur. Právě na tyto struktury se řešení soustředí nejvíce. V následující části se práce soustředí na koncepční návrh přilby, od skicování, přes vytváření 3D modelu, až k výsledným řešením detailů. Dále ukazuje finální návrh v podobě vizualizací. Na závěr se zabývá pevnostní analýzou vzorku použité struktury a hmotnostním výpočtem přilby.

Annotation of Diploma Thesis

MARTÍNEK, M. *The Design of a Cycling Helmet Based on 3D Scanning and 3D Printing: Diploma Thesis*. Ostrava: VŠB – Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Production Machines and Design, 2020, 78 pages. Thesis head: Mga. Petr Nenička

The diploma thesis deals with design of a bicycle helmet based on 3D scanning and 3D printing. Introduction focuses on research of bicycle helmets using special structures. It is on these structures that the research focuses the most. In the following part, the work focuses on conceptual design of the helmet, from sketching, through creation of a 3D model, to the final solution of details. It also shows the final design in the form of visualizations. Finally, it deals with the stress analysis of a sample of the structure used and weight calculation of the helmet.

Seznam použitých značek a zkratk

Seznam použitých značek

| | | |
|------------------|---------------------------|-------------------------|
| m_1 | hmotnost vnitřní vrstvy | [g] |
| m_2 | hmotnost vnější skořepiny | [g] |
| m_{cel} | celková hmotnost přilby | [g] |
| V_1 | objem vnitřní vrstvy | [mm ³] |
| V_2 | objem vnější skořepiny | [mm ³] |
| ρ_1 | hustota vnitřní vrstvy | [g · mm ⁻³] |
| ρ_2 | hustota vnější skořepiny | [g · mm ⁻³] |

Seznam použitých zkratk

| | |
|------|---------------------------|
| mAh | Miliampérhodina |
| mm | Milimetr |
| cm | Centimetr |
| g | Gram |
| N | Newton |
| lbf | Pound-force |
| kgf | Kilopond |
| PA11 | Polyamid 11 |
| TPU | Termoplastický Polyuretan |
| MTB | Mountain Biking |
| BMX | Bicycle Motocross |
| HD | High Definition |

Obsah

| | | |
|-----|---------------------------|----|
| 1. | Úvod | 9 |
| 2. | Rešerše | 10 |
| 2.1 | Přilba HEXR | 10 |
| 2.2 | Přilba KUPOL | 12 |
| 2.3 | Přilby SMITH | 14 |
| 2.4 | Přilby TREK | 17 |
| 3. | Proces návrhu | 19 |
| 3.1 | Varianta první | 20 |
| 3.2 | Varianta druhá | 30 |
| 3.3 | Varianta třetí | 33 |
| 3.4 | Verianta čtvrtá | 37 |
| 4. | Finalizace | 63 |
| 5. | Výpočet | 72 |
| 5.1 | Pevnostní analýza | 72 |
| 5.2 | Výpočet hmotnosti | 74 |
| 6. | Závěr | 75 |
| 7. | Seznam použitých zdrojů | 76 |
| 7.1 | Seznam použité literatury | 76 |
| 7.2 | Použité obrázky | 76 |
| 7.3 | Použité grafické programy | 77 |
| 7.4 | Přílohy | 77 |

1. Úvod

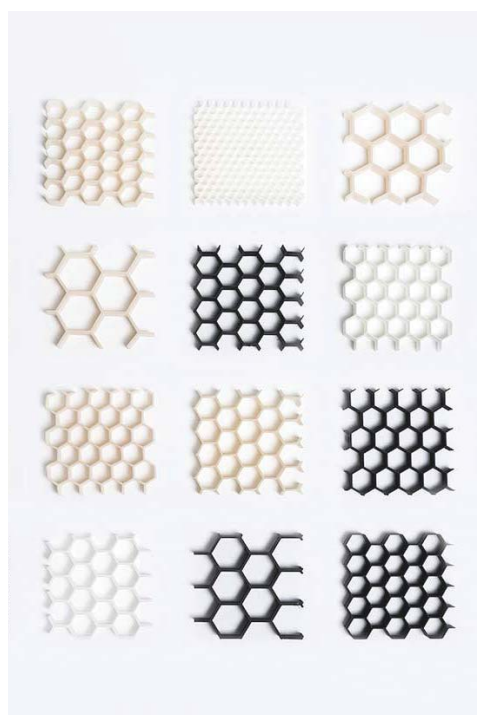
Tato diplomová práce se zabývá návrhem cyklistické přilby. Samotný návrh se odvíjí od práce s 3D skenováním a 3D tiskem, kterým má být přilba konstruována. Po materiálové stránce se uvažovalo o materiálu PA11 pro tisk vnější skořepiny. Ta by měla být schopná absorbovat nárazy a umožnit dostatečné proudění vzduchu. Pro uvažovaný tisk vnitřní vrstvy byl nakonec vybrán materiál TPU, díky jeho pružnosti za podmínek, které mu to umožňují, a díky tomu, že by nebylo potřeba přidávat do přilby vyměkčení. Pro vnitřní vrstvu jsem měl také vymyslet speciální strukturu, která by umožňovala pružnost materiálu TPU a pohyblivost hlavy v přilbě v různých směrech, aby se docílilo dobrých tlumicích a dynamických vlastností a tím optimální ochrany.

Základem mé práce je rešerše. V té jsem se zabýval přilbami, které používají právě takové struktury nebo podpůrné systémy, jež plní podobnou funkci. Hlavní pozornost jsem věnoval právě těmto strukturám. Moje práce dále obsahuje samotný koncepční návrh a finalizaci zvoleného návrhu.

Cílem práce bylo především navrhnout přilbu, jejíž návrh by počítal s výrobou pomocí 3D tisku. Zásadní podmínkou byla jedinečnost a originalita přilby. Ideální řešení by se mělo skládat z dvoudílné konstrukce, tj. vnější skořepiny a vnitřní strukturované vrstvy.

Nakonec jsem měl zvážit integrování technologií do přilby, a to hlavně integrování chytrých funkcí a senzorů.





2. Rešerše

2.1 Přilba HEXR

Společnost HEXR vyvíjí svou cyklistickou přilbu na stejném principu, na kterém by měl být vytvořen můj návrh. Prvním krokem, kterému se věnují, je 3D sken hlavy uživatele, podle kterého se následně navrhuje tvar struktury. Po vytvoření návrhu je helma tištěna pomocí 3D tisku.

Princip vnitřní struktury spočívá ve využití takzvané buněčné struktury (viz obr. 2). Výhodou takovéto buněčné struktury je to, že má nejlepší poměr síly, kterou snese, a její váhy. Jedním ze zakladatelů společnosti je vědec, profesor Mark Miodownik, který se zabýval materiály a strukturami. Díky jeho znalostem se podařilo společnosti najít ideální buněčnou strukturu, která má tvar šestiúhelníku tzv. "honeycomb structure", což by se dalo přeložit jako struktura plástve. Jejich nevýhodou je ale to, že nemohou být se-strojeny jiným způsobem než 3D tiskem, aniž by ztratily na efektivitě.



Pomocí 3D tisku je tištěna také vnější skořepina. Ta je vyrobena z polyamidu 11 (PA11), který odpovídá materiálu, se kterým bych měl počítat při konstrukci já. Díky propojení vnější skořepiny a vnitřní struktury se při nárazu síla rozprostře na větší plochu tzn. na více buněk, což výrazně zvyšuje celkovou bezpečnost přilby.

1- Cyklistická přilba HEXR

2- Příklady buněčných struktur

3- Cyklistická přilba HEXR



4- "Honeycomb
Structure"



2.2 Přilba KUPOL

Společnost KUPOL stejně jako společnost HEXR využívá pro výrobu své cyklistické přilby technologie 3D tisku. Zásadní rozdíl mezi těmito přilbami se nachází v samotné vnitřní struktuře. Zatímco přilba HEXR používá relativně jednoduchou buněčnou strukturu, přilba Kupol využívá kombinaci různých prvků a složitější konstrukci.

Struktura, kterou společnost KUPOL používá, se nazývá 3D KORE™ a funguje na podobném principu jako struktura v přilbě HEXR. V tomto případě ale slouží jako základ pro další prvky, které následně zajišťují ještě větší komfort a bezpečí.

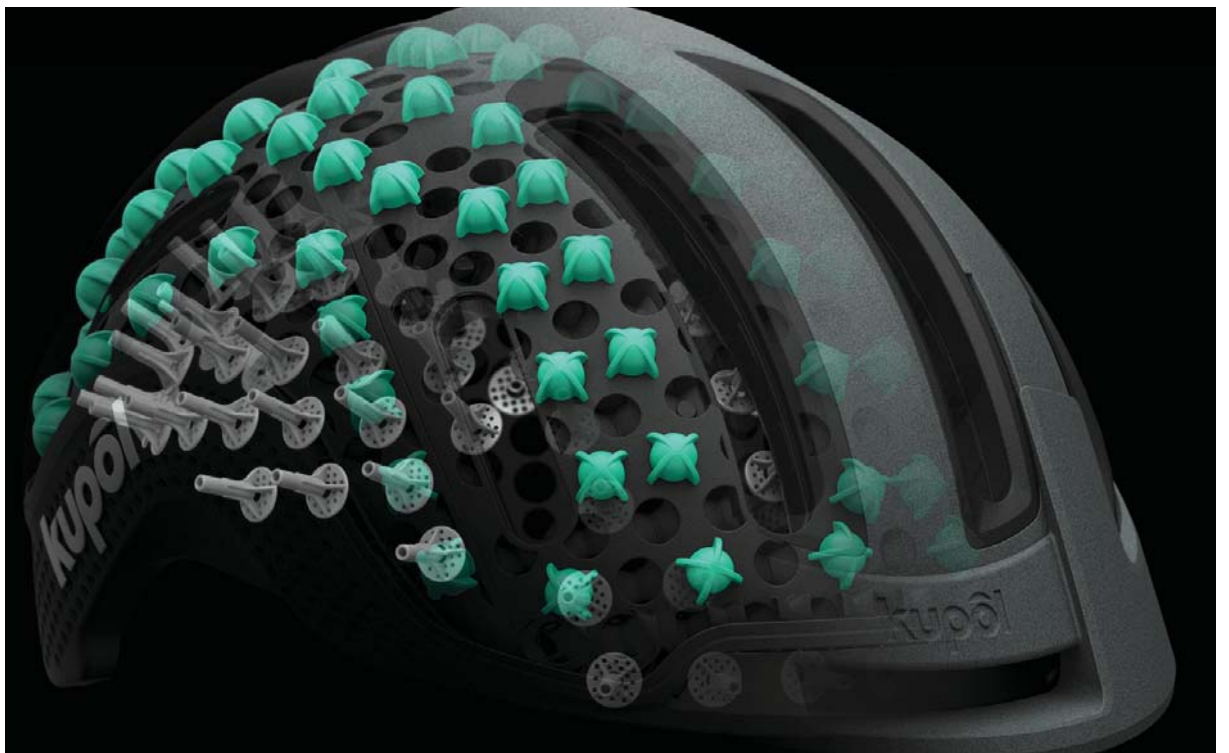
Jako celek se struktura společnosti KUPOL nazývá KOLIDE SAFETY SYSTEM™. Skládá se ze tří částí, z nichž jednou je právě 3D KORE™. Další je část nazývaná KINETIC BUMPERS™, což jsou v podstatě polštářky, které se při nárazu deformují, stejně jako 3D KORE™, a pomáhají vstřebávat sílu při nárazu. Tyto polštářky jsou připevněny na horní části struktury 3D KORE™. Poslední část se nazývá OCTOPUS™. Jedná se o nožičky, které vystupují ze struktury 3D KORE™ a dosedají na hlavu uživatele. Díky jejich pružnosti a pružnosti samotného 3D KORE™ se přizpůsobí hlavě uživatele pro maximální komfort. Zároveň jsou pohyblivé, což pomáhá při nárazu, kdy dochází



k rotaci hlavy v přilbě. To může vést k otřesu mozku. Všechny prvky systému KOLIDE SAFETY SYSTEM™ jsou vytvořeny pomocí 3D tisku a jejich kombinace zajišťuje ochranu proti všem typům nárazu.

5- Cyklistická přilba KUPOL

6- 3D KORE™



7- KINETIC
BUMPERS™

8- OCTOPUS™



2.3 Přilby SMITH

Společnost SMITH se na rozdíl od předchozích případů věnuje nejen vývoji cyklistických přileb, ale také vývoji přileb lyžařských a dalších sportovních potřeb, převážně brýlí. U cyklistických i lyžařských přileb používají podobných technologií a v obou případech využívají speciální vnitřní struktury vytvořené z materiálu KOROYD®.

Společnost SMITH využívá vlastního typu konstrukce AEROCORE™, což je konstrukce, která má umožňovat jak výbornou ventilaci, tak absorpci sil při nárazu. Tyto přilby sice používají polystyren EPS, který se používá v cyklistických přilbách běžně, v tomto případě je ale doplněn o strukturu vytvořenou ze speciálního materiálu KOROYD®. Ta je nejdůležitější částí této konstrukce, jelikož právě tato struktura zajišťuje ventilaci a zároveň absorbuje nárazy, a to všechny typy nárazů.

Umožňuje také dostatečný pohyb hlavy v přilbě, tedy rotaci hlavy při nárazu, čímž se zvyšuje ochrana proti otřesu mozku. Společnost SMITH používá tento systém ve všech svých přilbách. KOROYD® funguje na principu "honey-comb structure". Je to tedy v podstatě materiál přímo složený z buněčné struktury. Právě ta mu dodává vlastnosti, které jsou vhodné pro integraci do cyklistických přileb. KOROYD® je



také využíván v dalších produktech, jako například u kolenních chráničů společnosti Endura. Přilby SMITH dále využívají systém MIPS®, což je speciální systém vyvinutý švédskou společností MIPS®.

9- Cyklistická přilba SMITH

10- Konstrukce přilby SMITH

Overtake



Route



Forefront



Rover

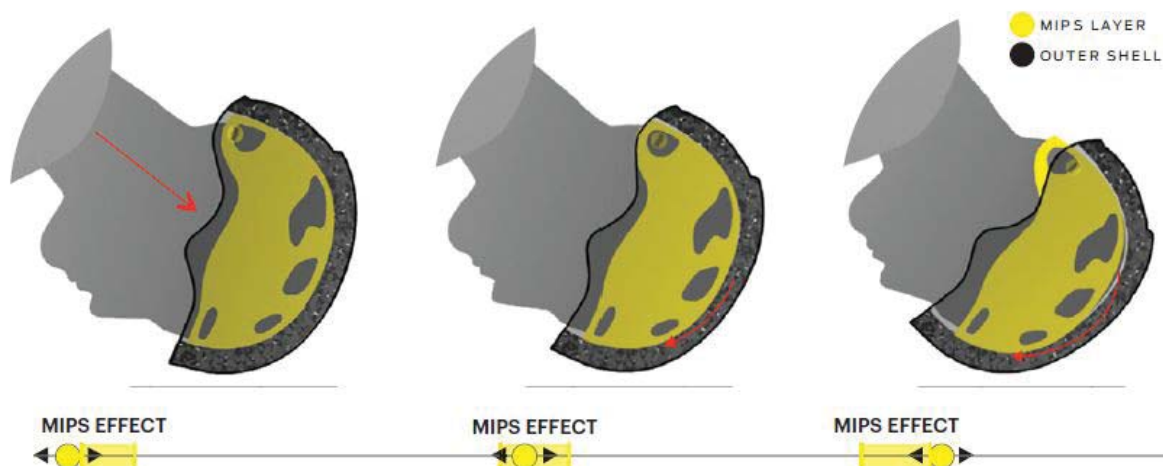


Forefront

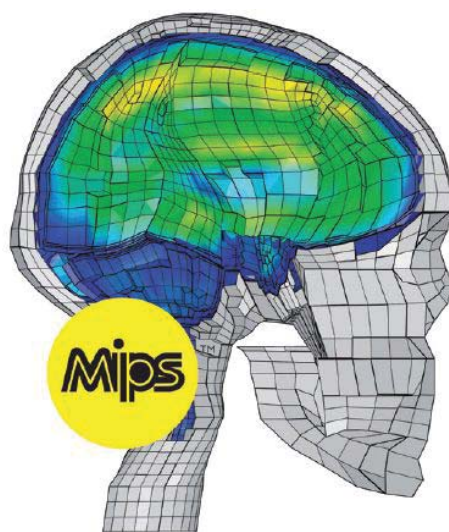
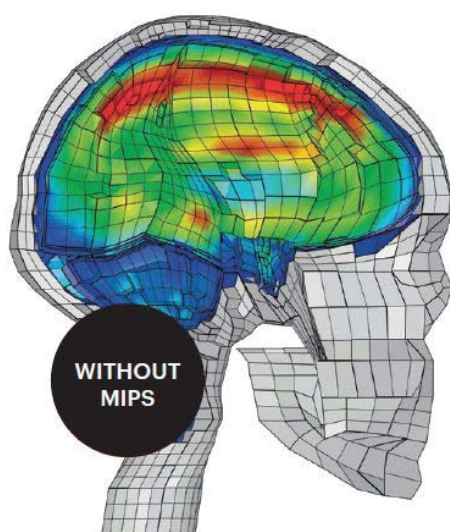


11- Přilby SMITH

12- Vložka
koleního chrániče
Endura



Základním principem tohoto systému je umožnit hlavě v přilbě klouzat. Při nárazu totiž může dojít k rotaci hlavy, se kterou ale klasické přilby nepočítají a hlavě nedovolí se v přilbě pohnout. Kvůli tomu dochází k pohybu mozku v hlavě, což ve výsledku může způsobit otřes mozku. Přilby opatřené systémem MIPS® jsou obecně vybaveny EPS polystyrenovou skořepinou, kluznou vložkou MIPS® a elastomery, které první dvě části spojují. Elastomery se při nárazu natáhnou a umožní kluzné vložce pohyb v řádu milimetrů.



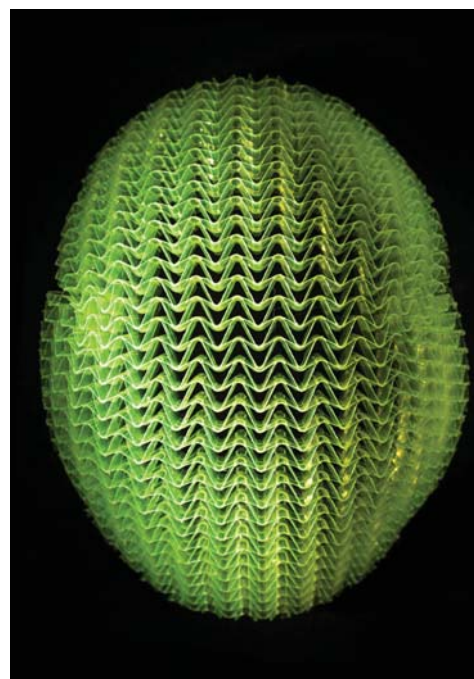
13- Systém MIPS®

14- Zatížení mozku



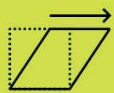
2.4 Přilby TREK

Společnost TREK je další společností, která využívá při konstrukci svých přileb buněčných struktur. Tato společnost používá ve svých přilbách strukturu ze speciálního buněčného materiálu WaveCel. Tento materiál se vyznačuje tím, že pohlcuje nárazy pomocí třístupňové změny struktury materiálu. Díky tomu by struktura měla zaručovat ochranu proti všem možným druhům nárazu. Tvarem jednotlivých buněk by měla tato struktura fungovat na stejném principu jako systém MIPS®. Zároveň zajišťuje dobré odvětrávání hlavy. Nevýhodou materiálu WaveCel je to, že mírně navýšuje váhu přileb oproti klasickým přilbám. Toto navýšení se ale pohybuje kolem 53 gramů. Pro zajištění struktury ke vnější skořepině se používá spodní kostra, na které je ještě připevněno vyměkčení.



15- Cyklistická přilba TREK

16- Struktura WaveCel



Flex

First, the cells flex to reduce the initial frictional forces.



Crumple

Next, the cells crumple like a car bumper upon impact.

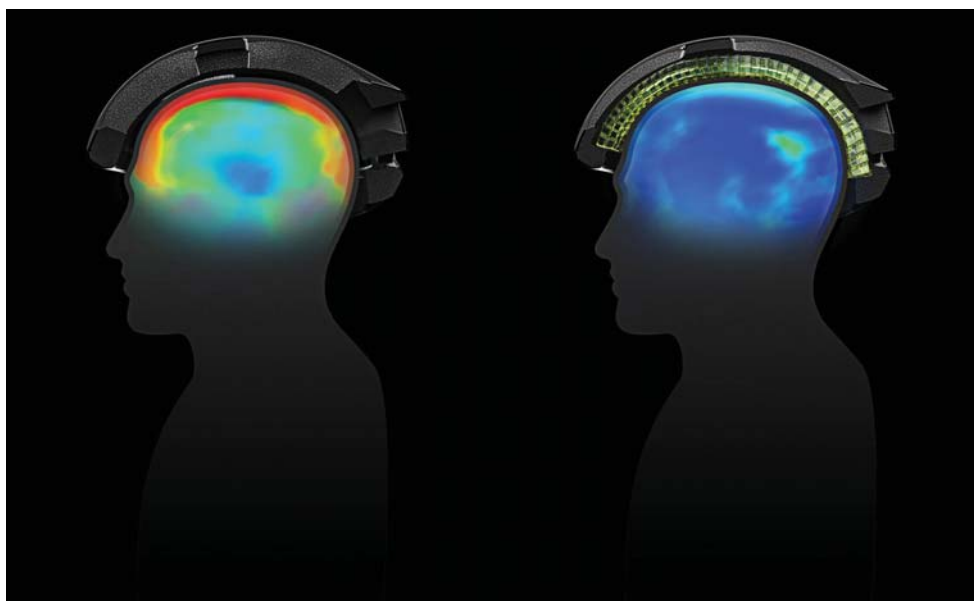


Glide

Finally, WaveCel glides to redirect energy away from your head.

How it works

In order to protect your head and absorb the energy created by an impact, WaveCel goes through a three-step change in material structure.



17- Vysvětlení funkce WaveCel

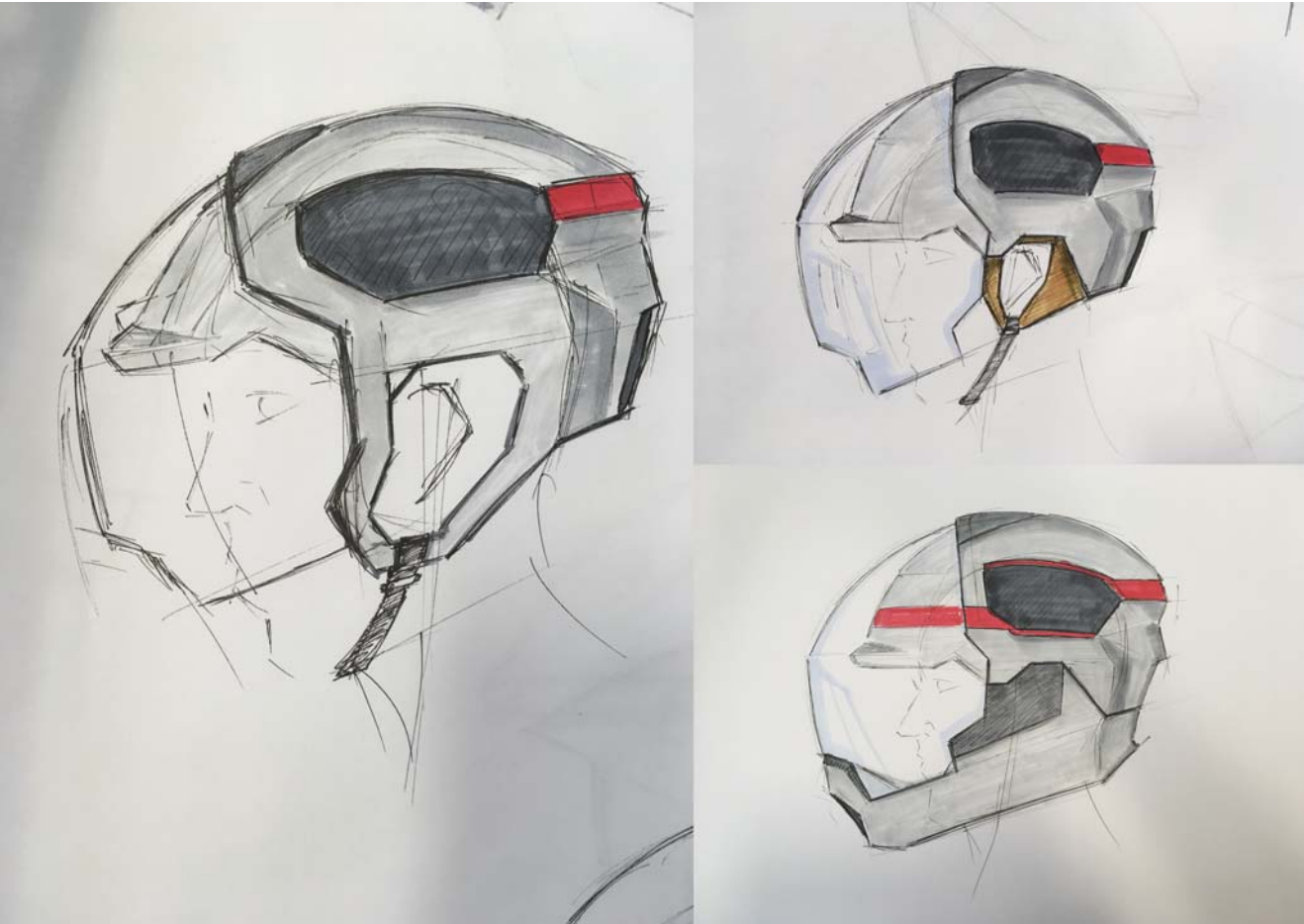
18- Zatížení mozku

19- Přilba TREK

3. Proces návrhu

V počáteční fázi navrhování jsem se věnoval výhradně skicování, při kterém jsem se zaměřil na základní tvar přilby. Prvních pár skic jsem kreslil na papír. Následně jsem se při procesu tvorby začal učit digitální skicování, takže všechny ostatní skici jsou nakresleny digitálně ve volně dostupném softwaru Autodesk SketchBook. V prvních skicách jsem návrhy kreslil z profilu a až po vytvoření přibližně požadovaného tvaru jsem začal kreslit skici z tříčtvrtečního pohledu.

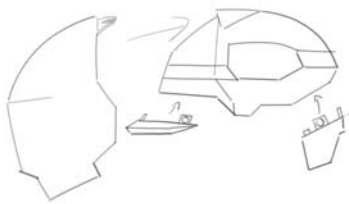
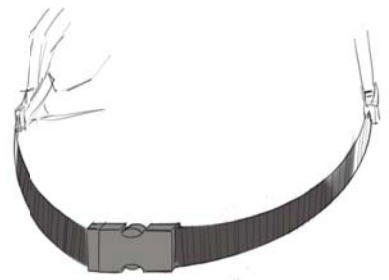
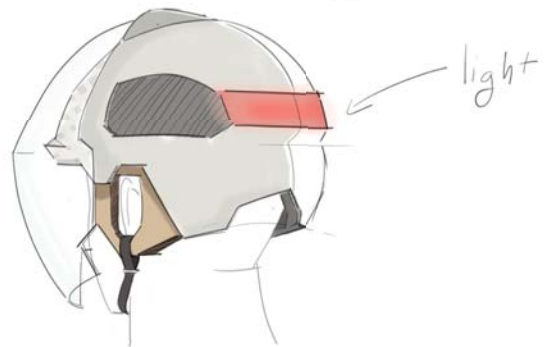
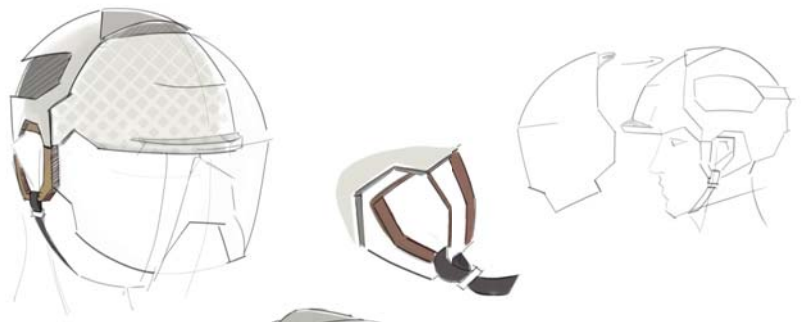




3.1 Varianta první

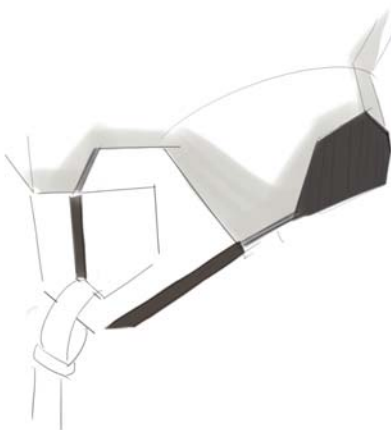
Jako první koncept jsem zvolil přilbu, kde nejvýraznějšími znaky byly ostré hrany a velký vizor, který zakrýval i horní část přilby. Snahou bylo, aby vrchní část tohoto vizoru fungovala zároveň jako difuzor pro světlo, které by bylo umístěno v horní části nad kšiletem. Důležitou součástí tohoto konceptu byla také snaha vytvořit vysoce modulární přilbu, na jejíž základ by se dalo připojit velké množství variant příslušenství, jako například již zmíněný vizor, různé typy připojení pásek nebo například ochrana brady, čímž by si uživatel mohl přizpůsobit přilbu podle potřeb jízdy a zároveň by tak přilba mohla být vhodná pro velké množství stylů cyklistiky. Mohla by tedy fungovat jako MTB přilba, což je přilba s prodlouženou ochranou týlu pro jízdu v terénu, jako silniční přilba nebo jako BMX přilba na jízdu downhill nebo bikros.





ROAD

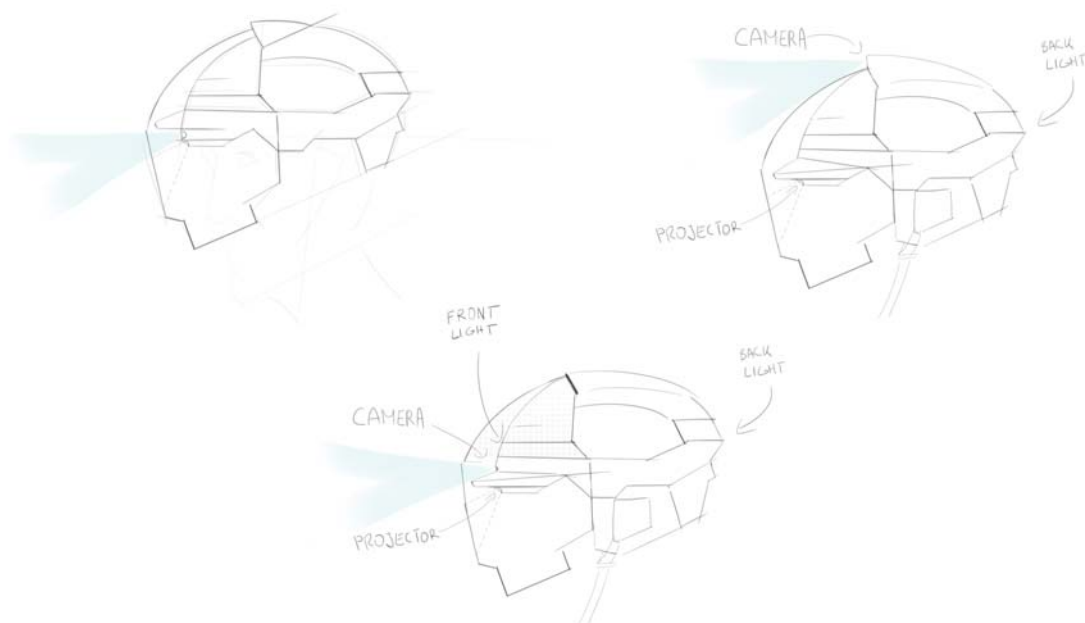
TRAIL

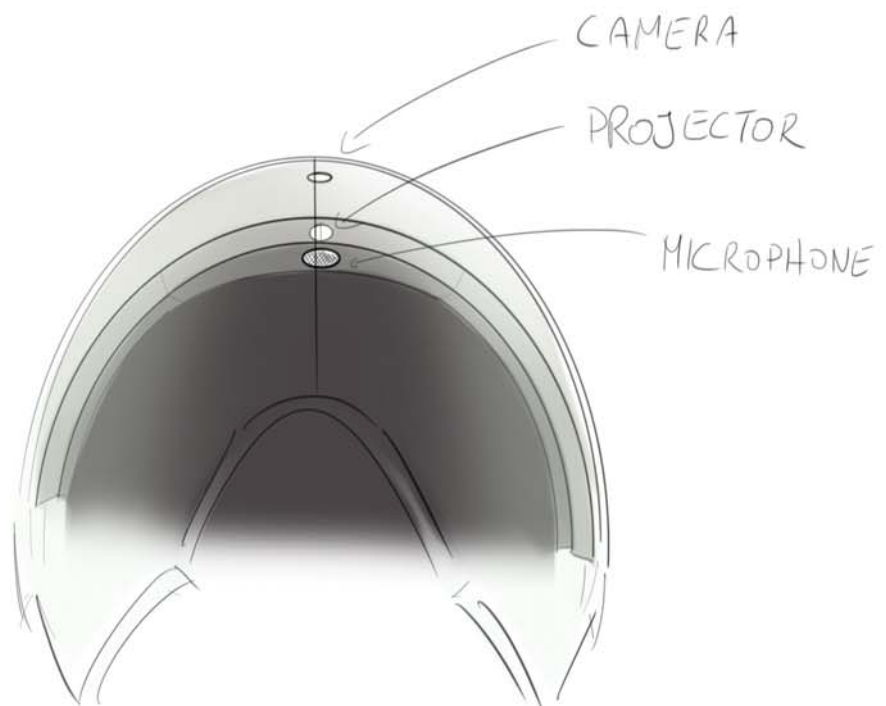
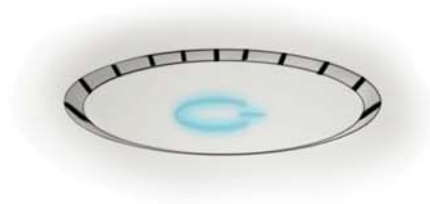
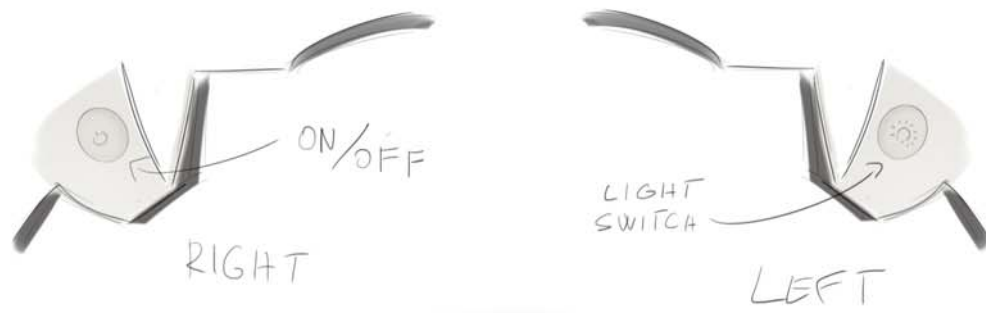


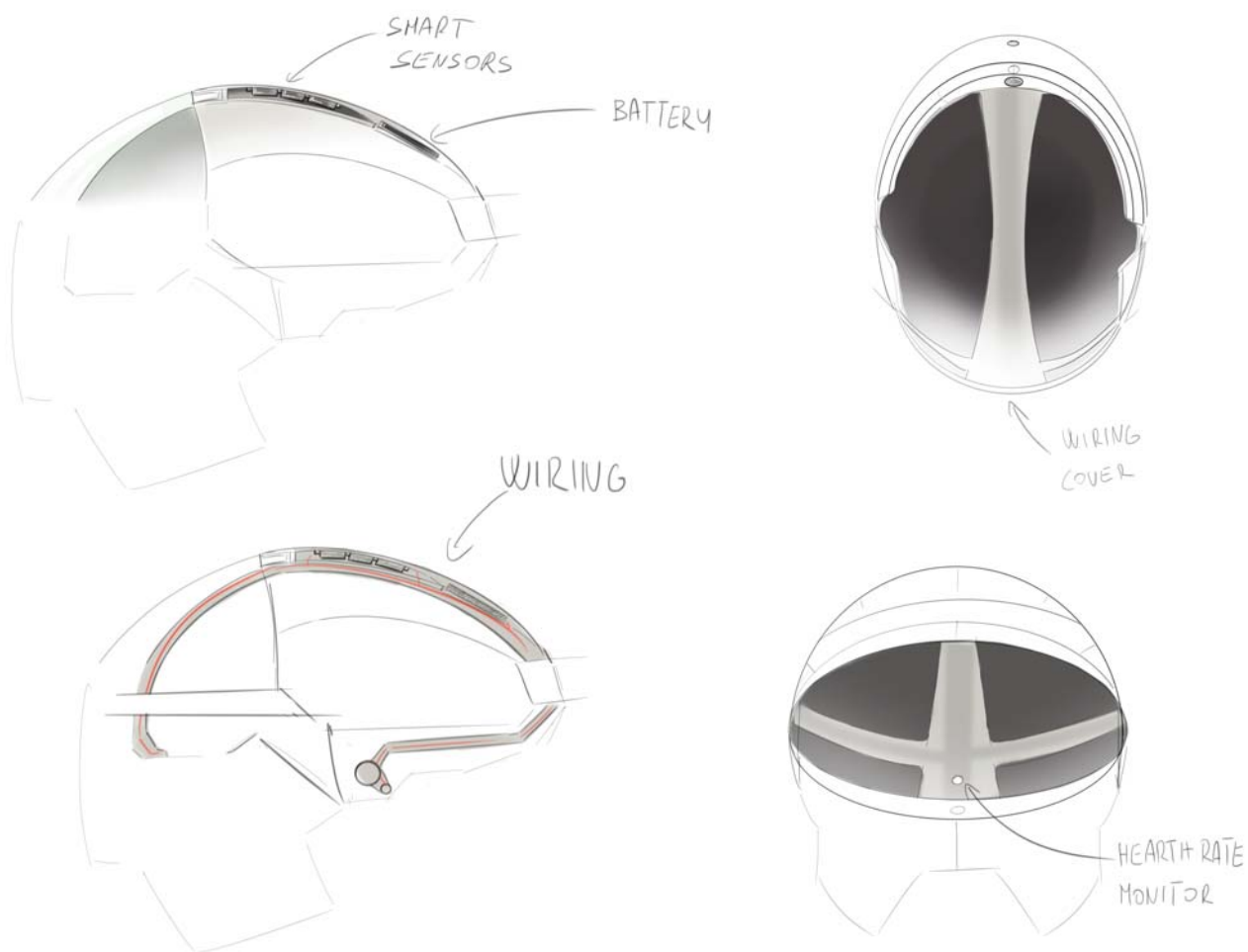
Tento návrh jsem začal rozkreslovat a soustředil jsem se i na některé detaily, jako je například spona pásků nebo typ připojení pásků k přilbě. Pokusil jsem se také naznačit umístění perforací a větracích otvorů v přilbě. Dále jsem se pokoušel rozkreslovat sktruktury, které by se daly použít pro vnitřní strukturu. Při tomto úkonu jsem vycházel hlavně ze své rešerše. Většinu těchto struktur jsem vykresloval jako buněčné struktury s tím, že jsem se nejvíce zaměřil na strukturu typu honeycomb, tedy sturukturu, jejíž buňky jsou hexagonální.



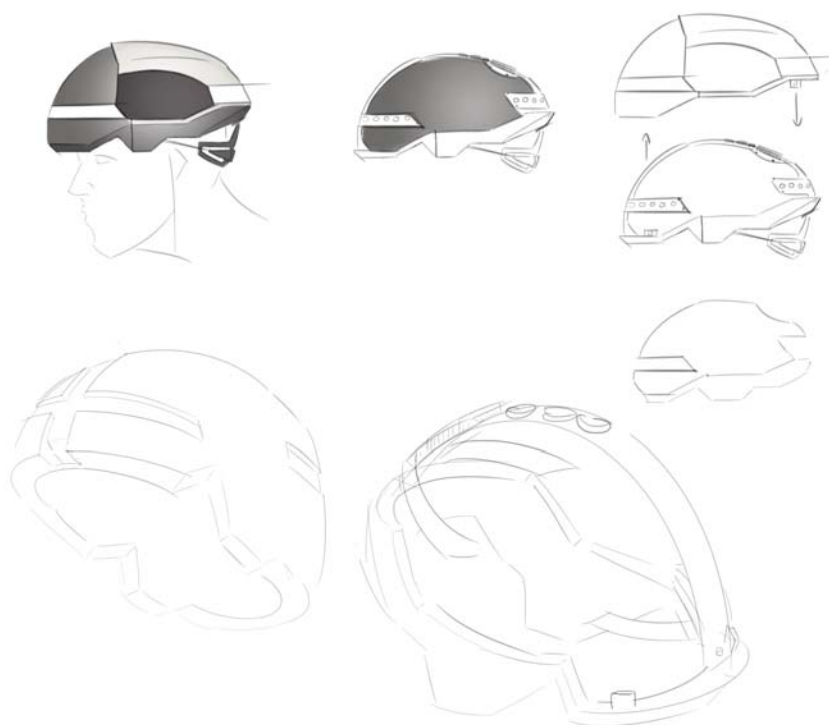
Zároveň jsem se snažil naznačit umístění SMART senzoriky v přilbě, tj. hlavně umístění optických senzorů, jakými jsou kamera a zařízení pro promítání, dále umístění ostatních senzorů, světel a baterie. Senzory a zařízení pro integrování do helmy jsem nejdříve volil podle již navržených SMART přileb, které jsou na trhu. Mezi těmito senzory a zařízeními byly hlavně senzory pro měření okolní teploty, pro měření srdečního tepu a pro měření stoupání cesty. Důležitou součástí byl také bluetooth konektor pro propojení s mobilním telefonem, pro který by byla speciálně navržena aplikace na ovládání senzorů a zobrazovaného rozhraní rozšířené reality.

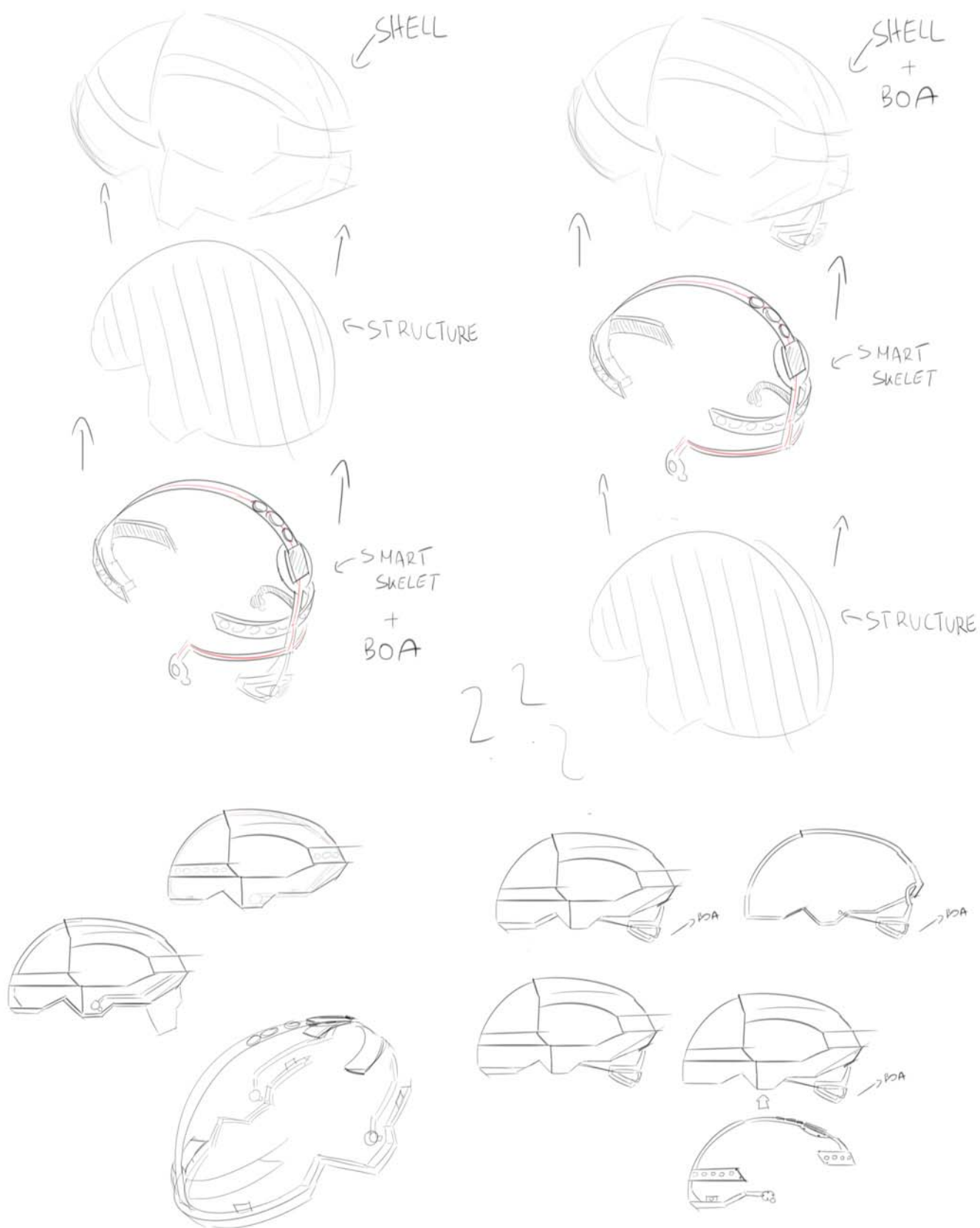






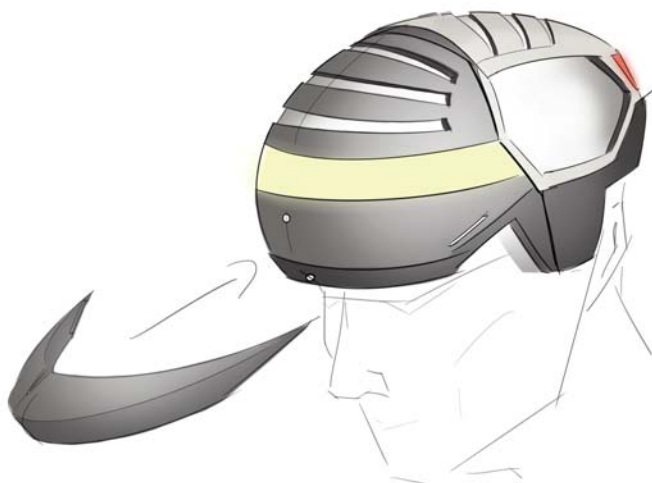
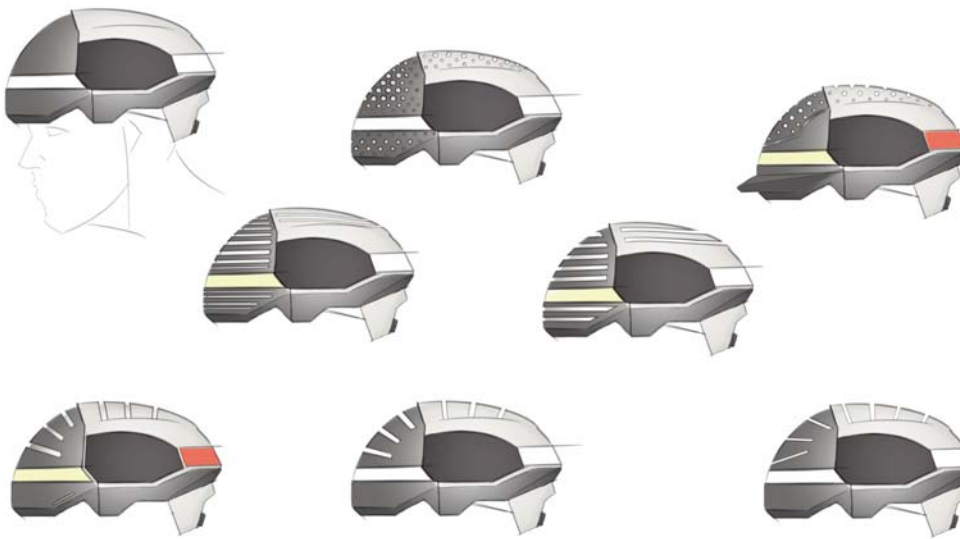
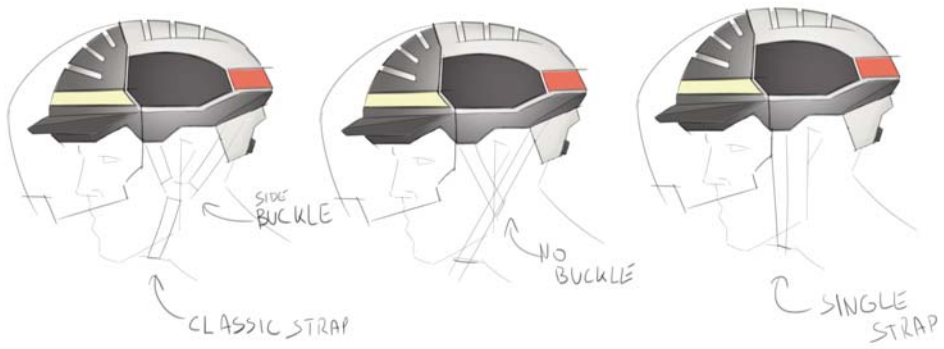
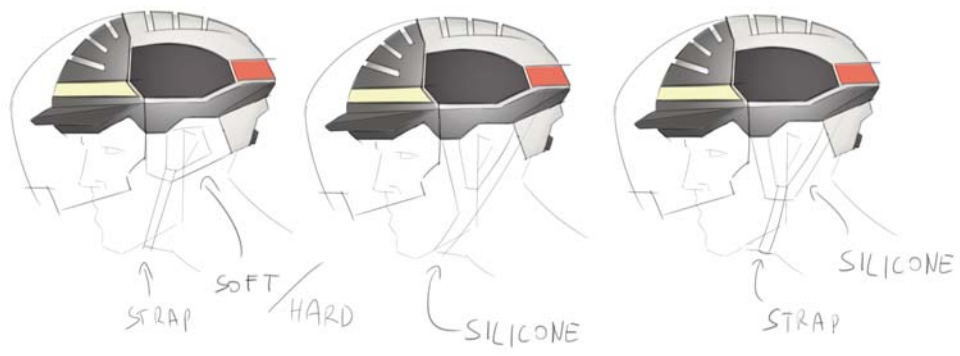
Následně jsem opět rozkresloval návrh. Při tomto rozkreslování jsem začal uvažovat o integraci vyjímatelného skeletu, který by byl nositelem všech chytrých prvků přilby. Tento skelet by byl umístěn pod vnitřní strukturou. To by pro uživatele znamenalo možnost vyndat tento skelet a tím zbavit přilbu SMART funkcí a možnost využívat tak přilbu pouze jako ochrannou pomůcku. Tato myšlenka opět vycházela ze snahy o co největší modulárnost produktu.



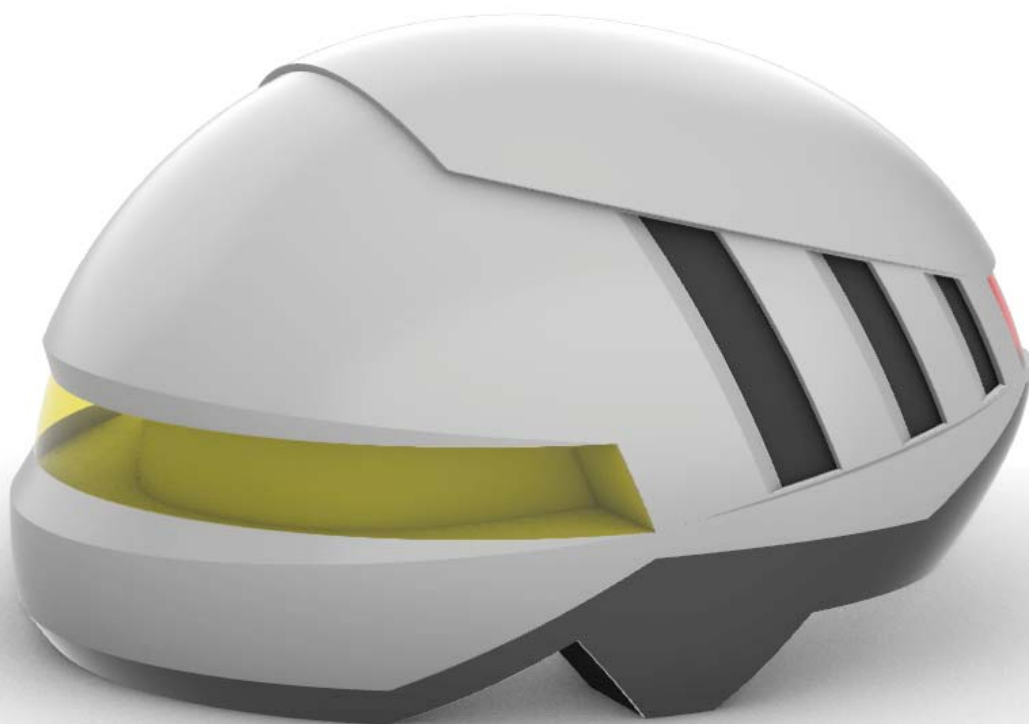
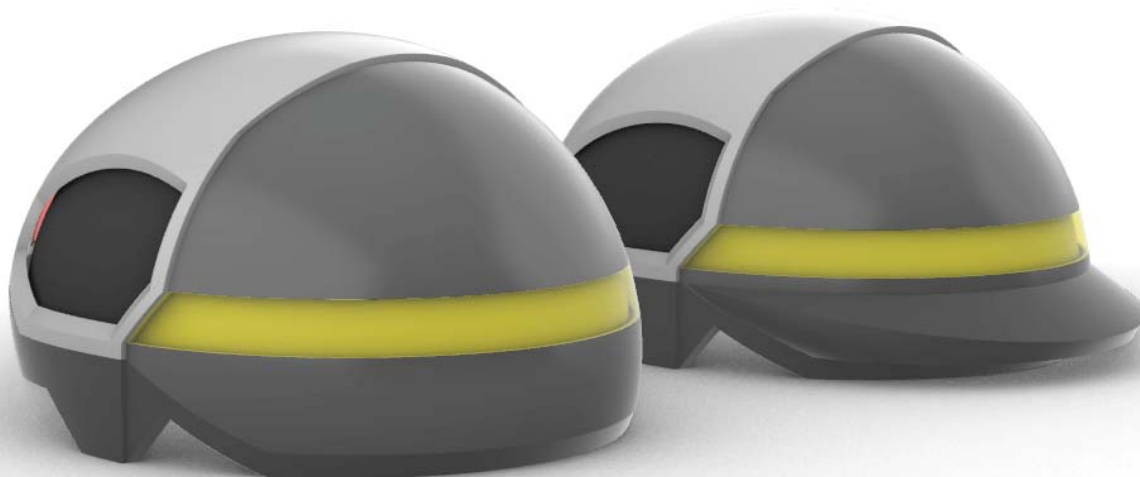


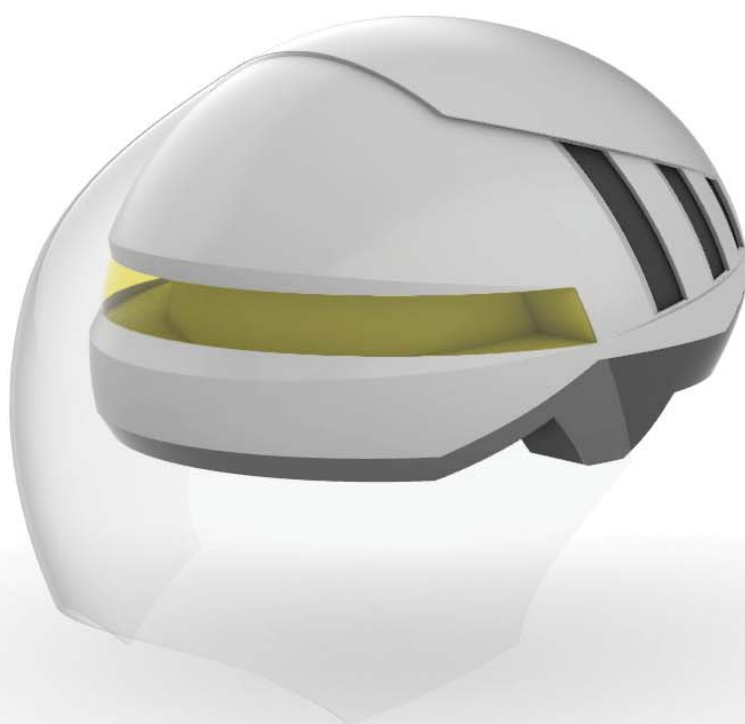
Při dalším rozkreslování jsem se soustředil převážně na perforace přilby, a to hlavně v přední části, kde by plnily funkci větrání.

V duchu maximální možné modulárnosti jsem se také snažil o vytvoření několika typů pásků, které by uživatel mohl podle libosti měnit.

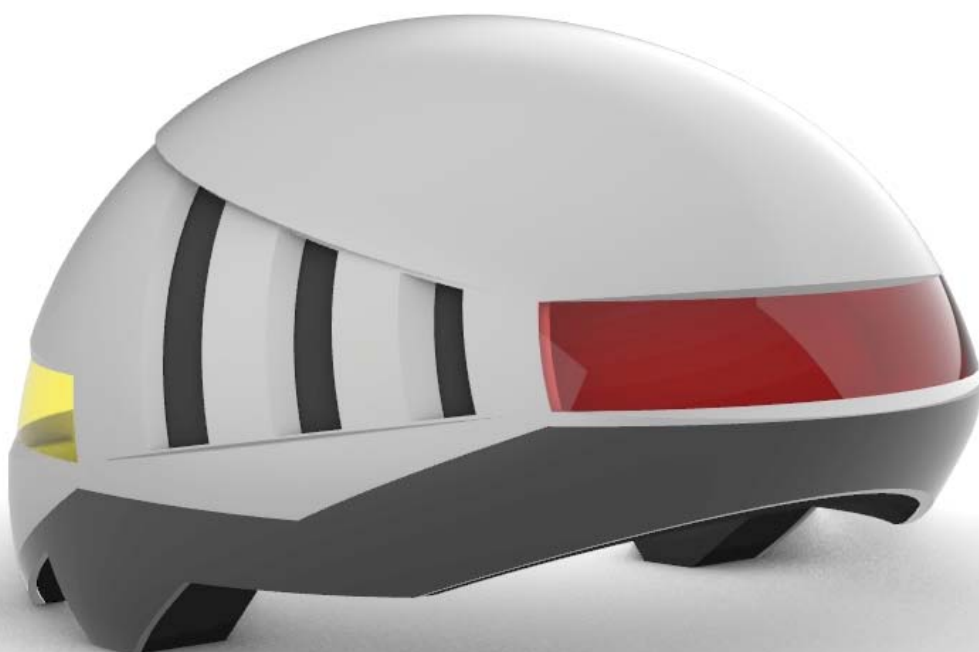


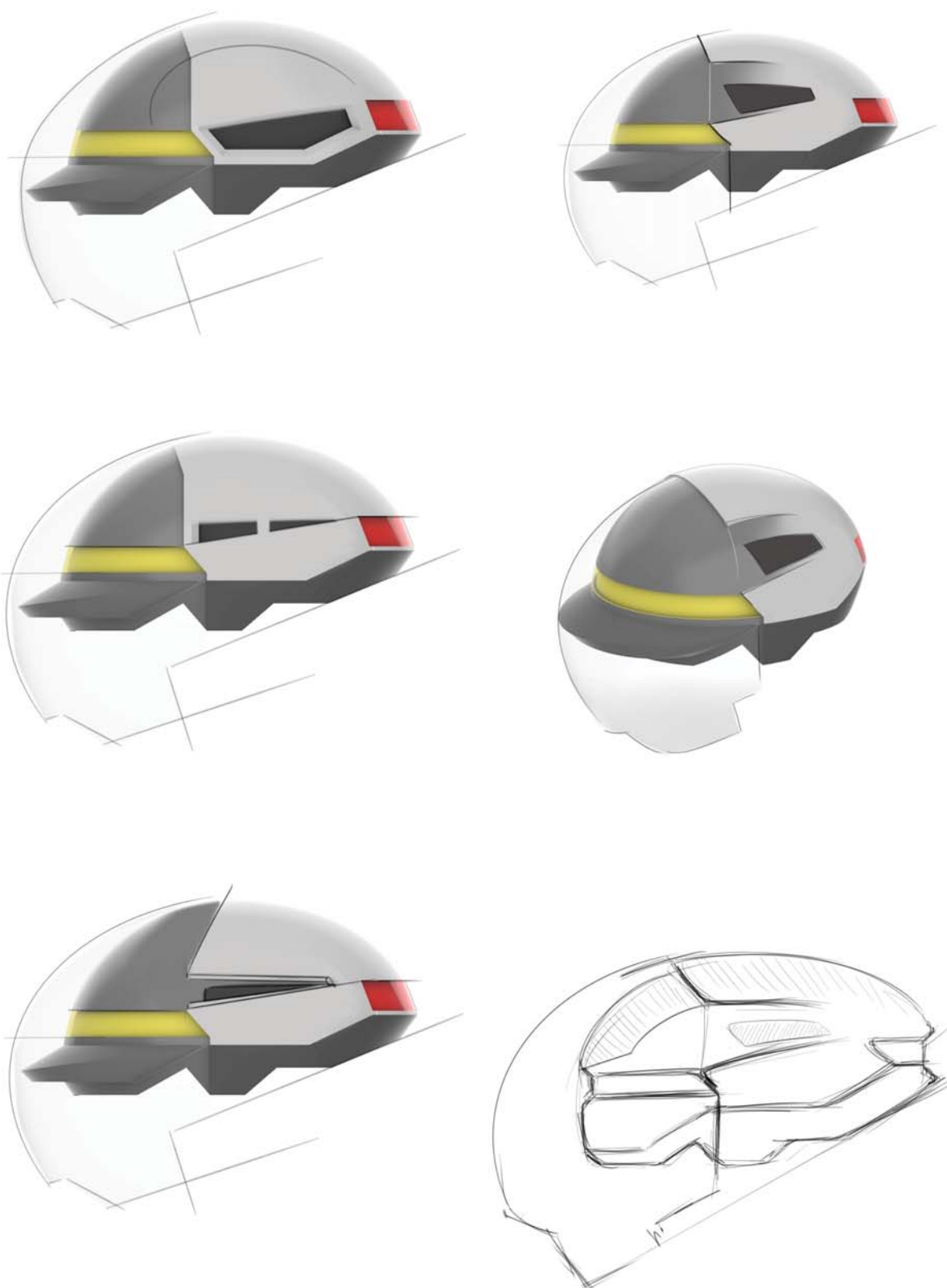
V tento okamžik jsem se začal věnovat také 3D modelování v softwaru Rhinoceros 5 a Rhinoceros 6, abych zjistil, jak bude vypadat přilba v prostoru.





Na bázi tohoto modelu jsem začal opět skicovat ve snaze upravit boční otvor přilby, aby více fungoval s celkovým vzhledem. Poté jsem vymodeloval ještě pár variant.

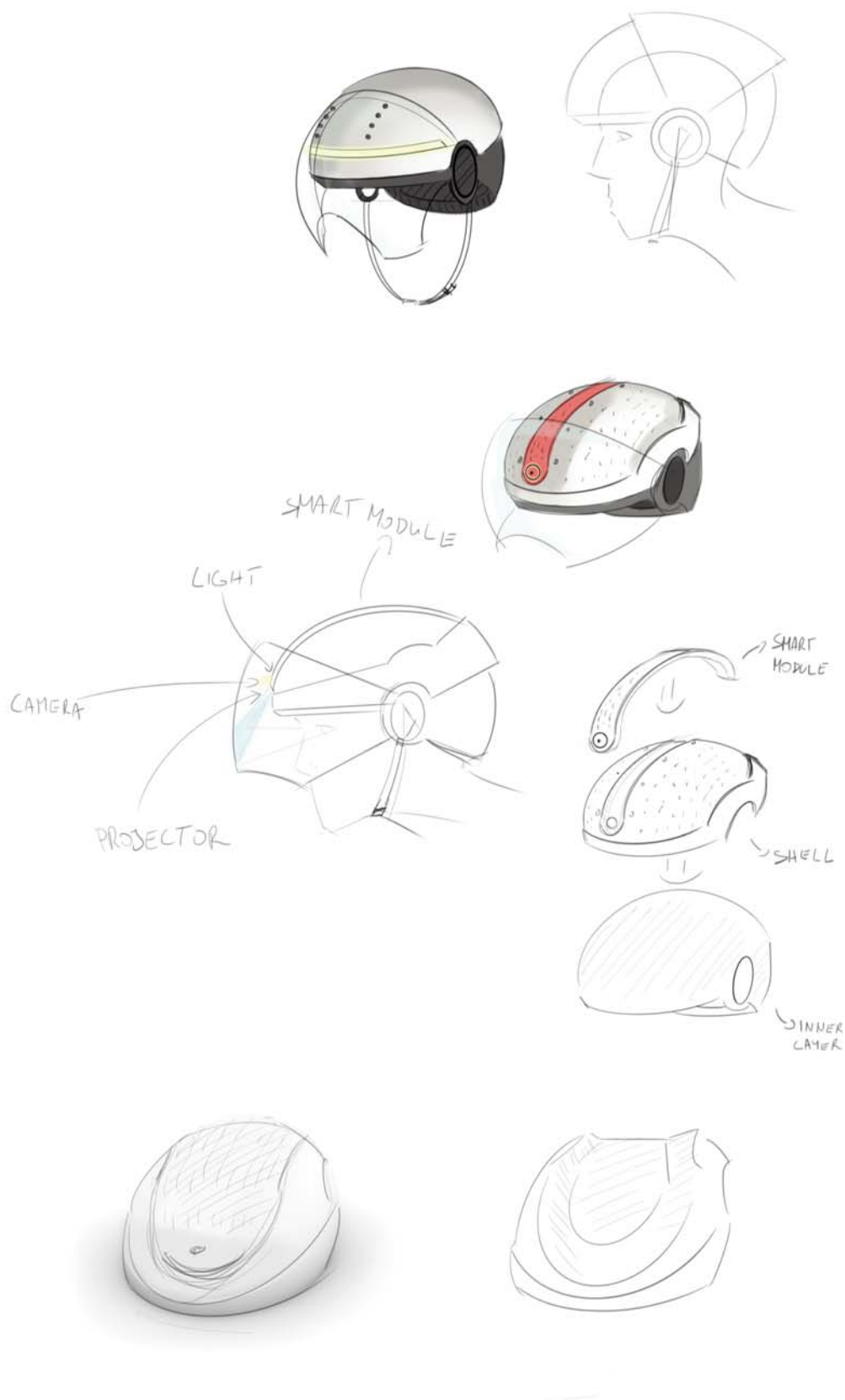


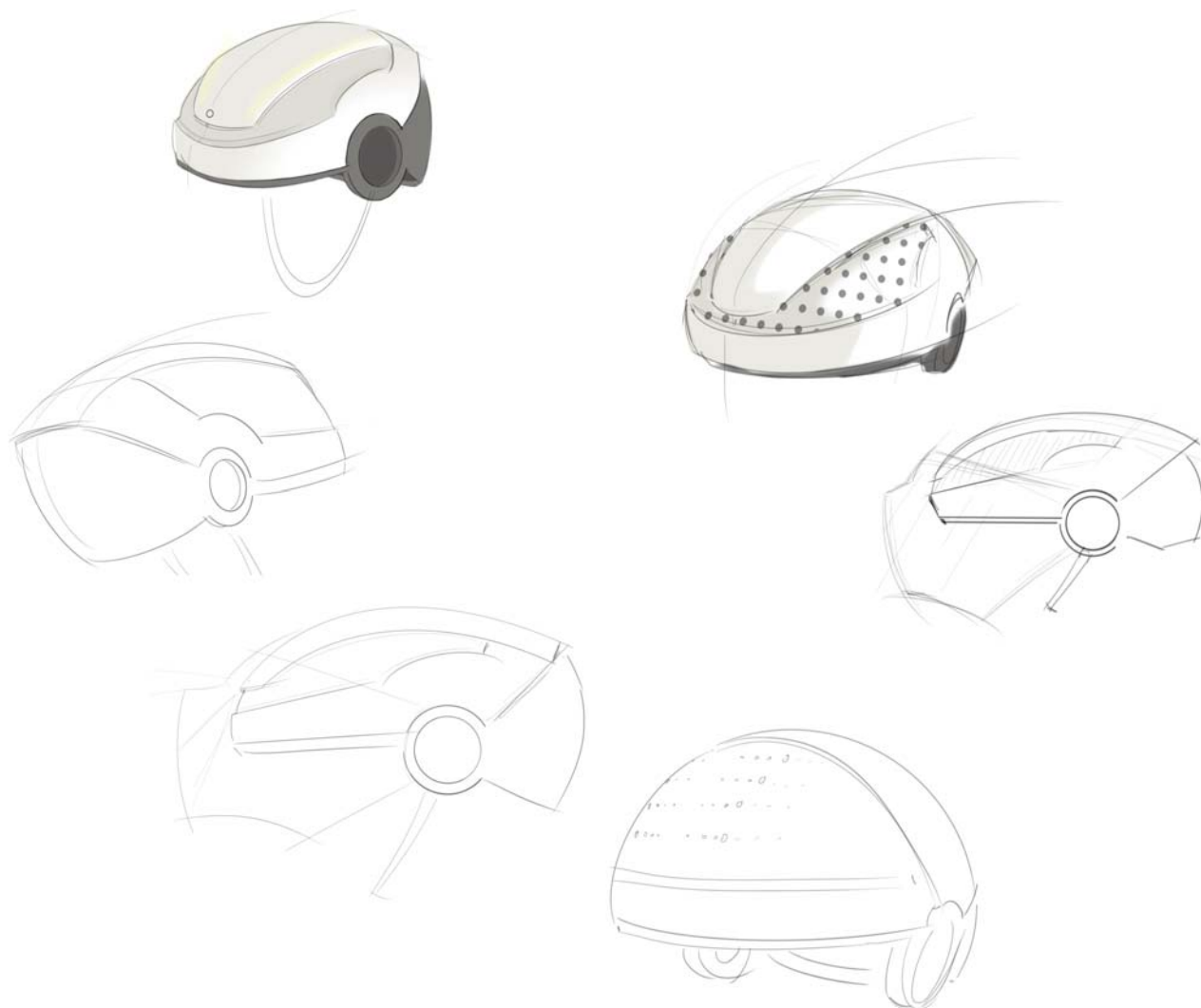


Jelikož jsem u tohoto návrhu nedokázal dosáhnout celkového dojmu, který bych si představoval a který byl mým cílem, přestal jsem na tomto návrhu pracovat a začal jsem navrhovat nové varianty.

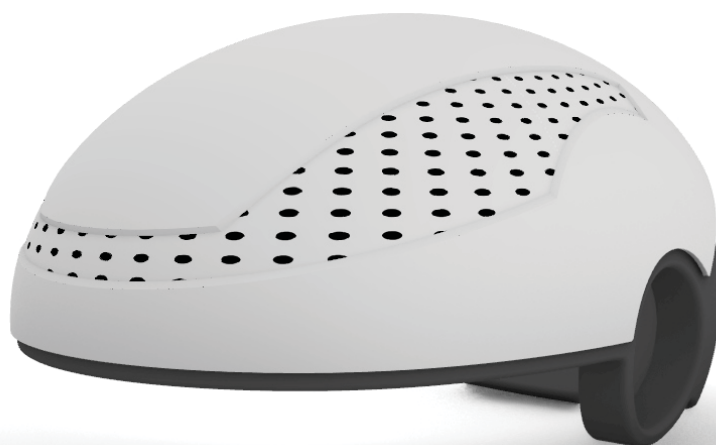
3.2 Varianta druhá

V počáteční fázi druhého návrhu jsem se opět vrátil výhradně ke skicování. Koncept přilby jsem pojal z naprosto opačného konce než u varianty první. Tvar přilby jsem se snažil vytvořit jednoduchý bez zbytečných hran a detailů a co nejvíce kulatý a organický. Koncept modulárnosti jsem zahodil, jelikož už v prvním návrhu se ukázalo jako velice těžký úkol zkombinovat modulárnost s mou myšlenkou přilby jak designovou, tak konstrukční.



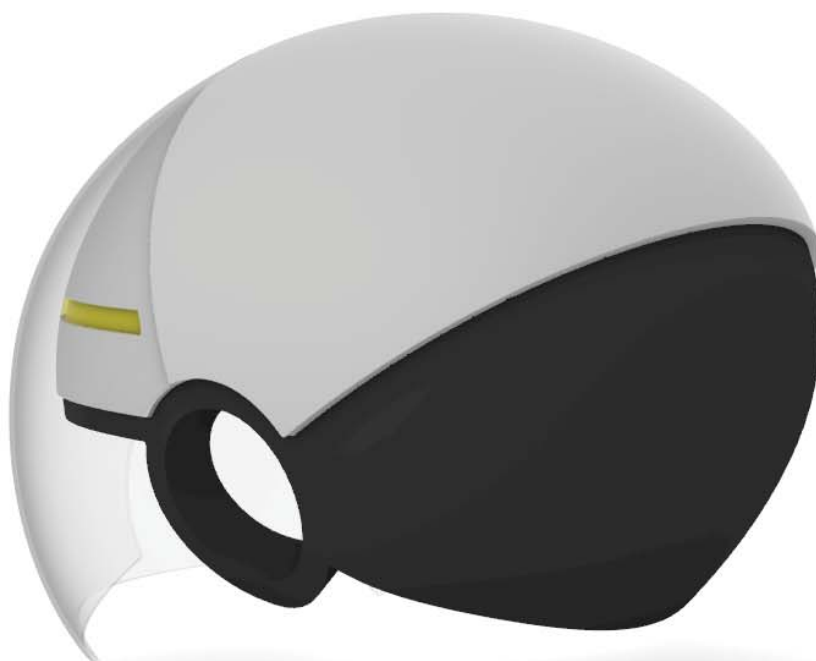


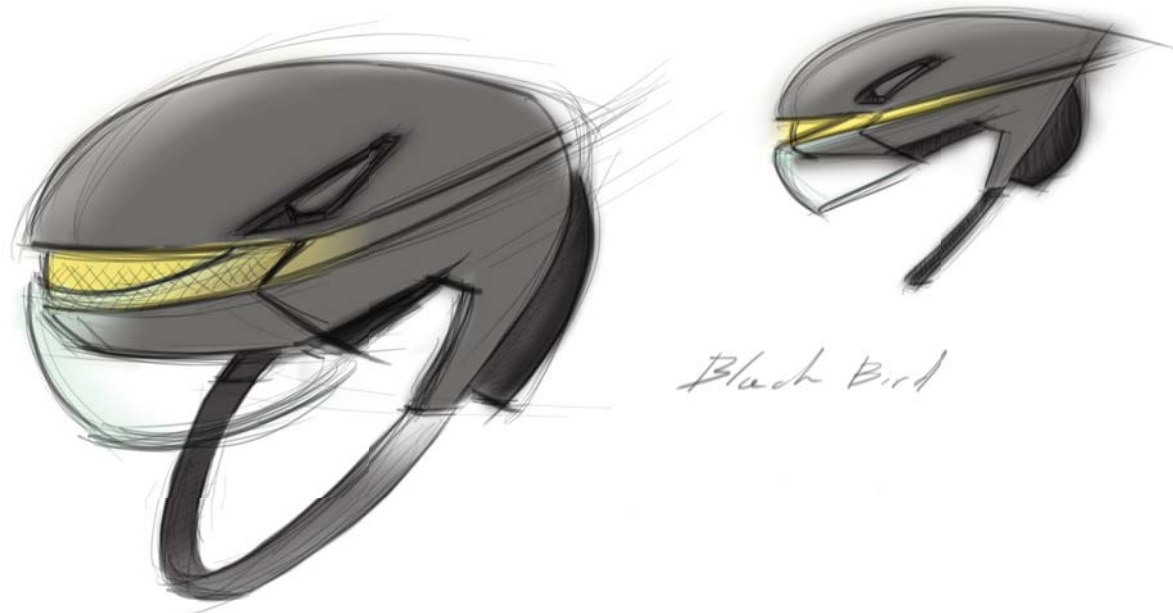
Jeden z prvků, který jsem z prvního návrhu zachoval, byl vizor s přesahem, který by zakrýval i horní část přilby. Vrhнул jsem se do druhého kola modelování. Jako nejlepší z této nové várky návrhů se ukázal být úplně ten první. Po vytvoření modelu jsem ale stále nebyl spokojen.





Zásadním problémem se pro mě ukázal být právě prvek vizoru s přesahem. Kvůli pevnému usazení a pěknému přechodu mezi plochou přilby a vizorem se na přilbě vyskytoval zub mezi plochou pod vizorem a plochou za vizorem. Při odpojení vizoru byl potom tento zub zjevný a celkový dojem přilby tak nepůsobil dobře. Co se ale ukázalo jako zajímavý prvek, byla odhalená zadní část, kde by byla jasně viditelná struktura. Tento prvek zůstal v pozměněné formě až do finálního návrhu.



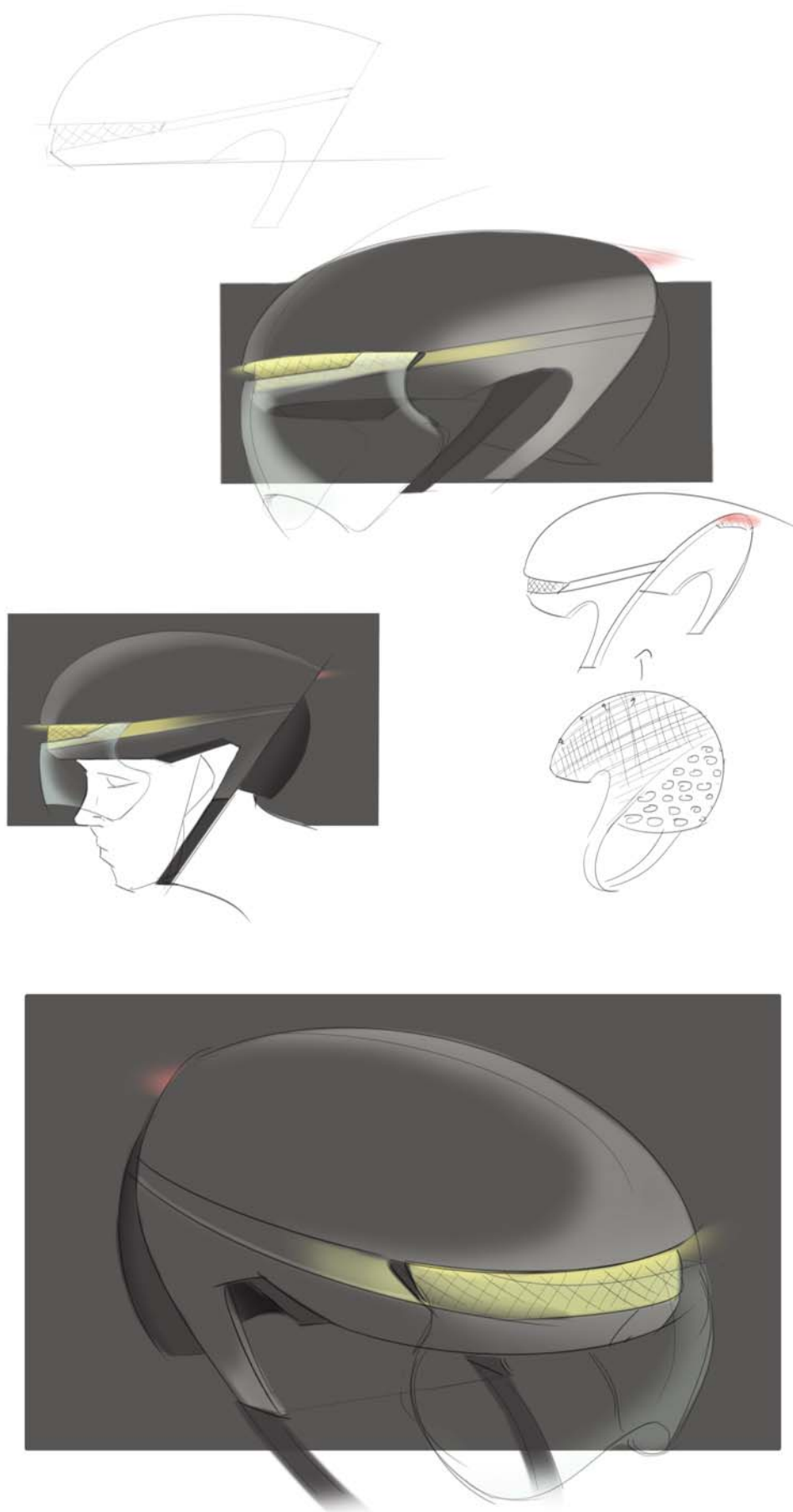


3.3 Varianta třetí

U třetího návrhu jsem se snažil vyzdvihnout a zvýraznit odhalenou zadní část tím, že jsem v této části vytvořil řez. Tento řez jsem protáhl pod úroveň očí, a tímto vznikla plocha, na kterou navazovaly pásy. V původní iteraci tohoto návrhu jsem zamýšlel pásek vytvořit přímo při tisku jako součást vnitřní vrstvy. I nadále jsem se snažil zachovat přesah vizoru, ačkoliv v této variantě jsem přesah pouze minimální.

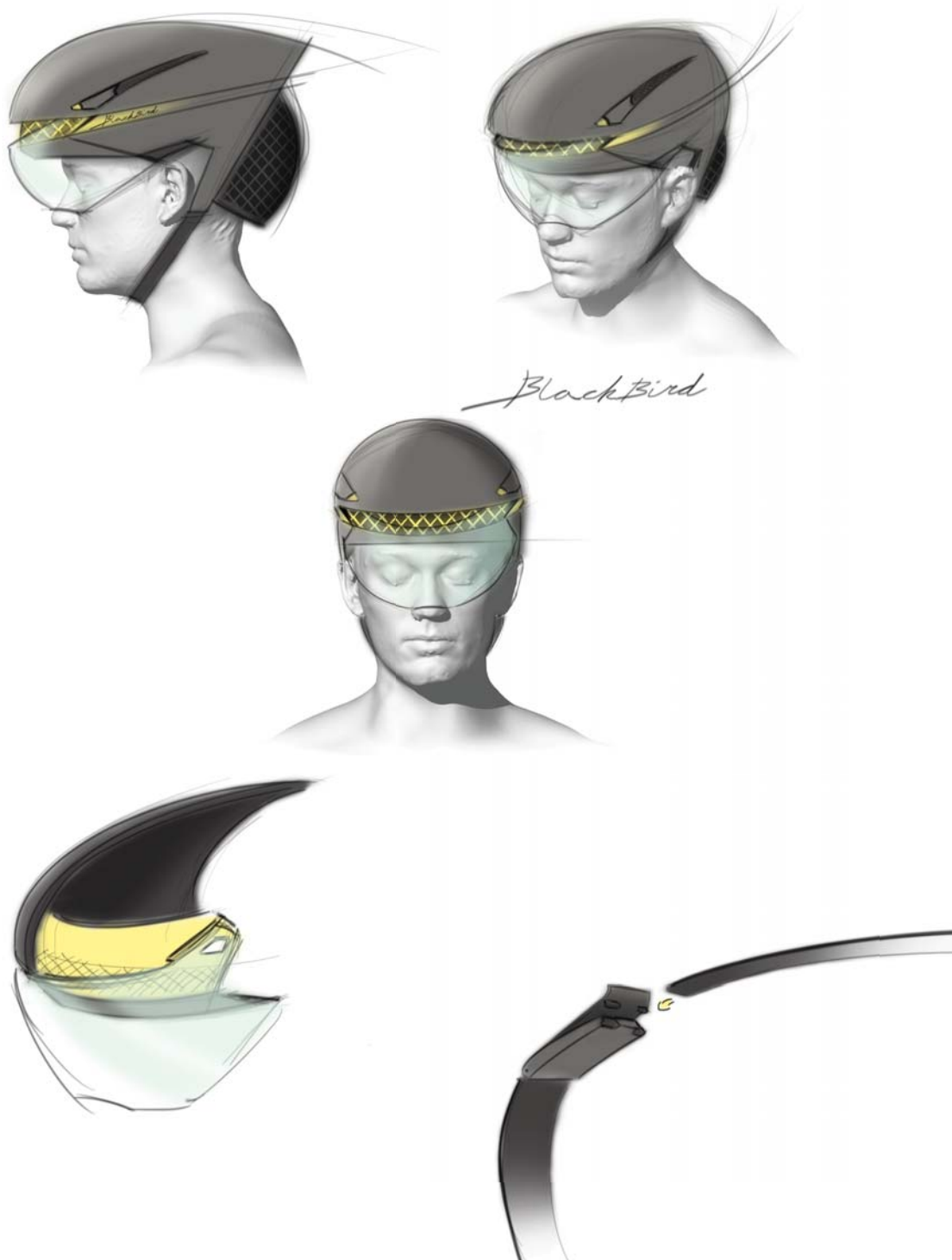


Snažil jsem se pomyslně rozdělit vnější skořepinu na dvě úrovně, kdy by se vizor zasouval mezi tyto části a byl uchycen pomocí kolíků.

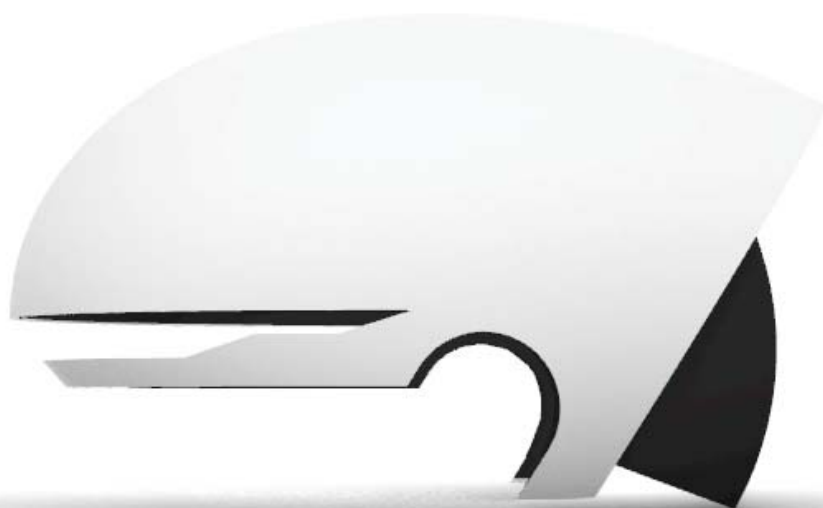


Problém vyvstal právě v této myšlence dvou úrovní. Bylo totiž potřeba vytvořit přechod mezi těmito úrovněmi. Jako optimální řešení se mi zdál jednoduchý prolis, který by v přední části fungoval jako zkosení a tím by vytvořil potřebný prostor pro zasunutí vizoru. Postupně by se toto zkosení zarovnávalo až do ztracena, kdy by bylo v zadní části přilby by neznatelné.

V zadní části přilby jsem zároveň umístil prostor pro senzory a zadní světla. Ten jsem zde umístil hlavně díky tomu, že mezi zadní částí a vnitřní strukturou vznikl volný prostor, to znamená, že u vnitřní vrstvy by nebylo potřeba žádného úběru materiálu. V přední části jsem vytvořil otvor pro větrání, který by také odhaloval strukturu vnitřní vrstvy.

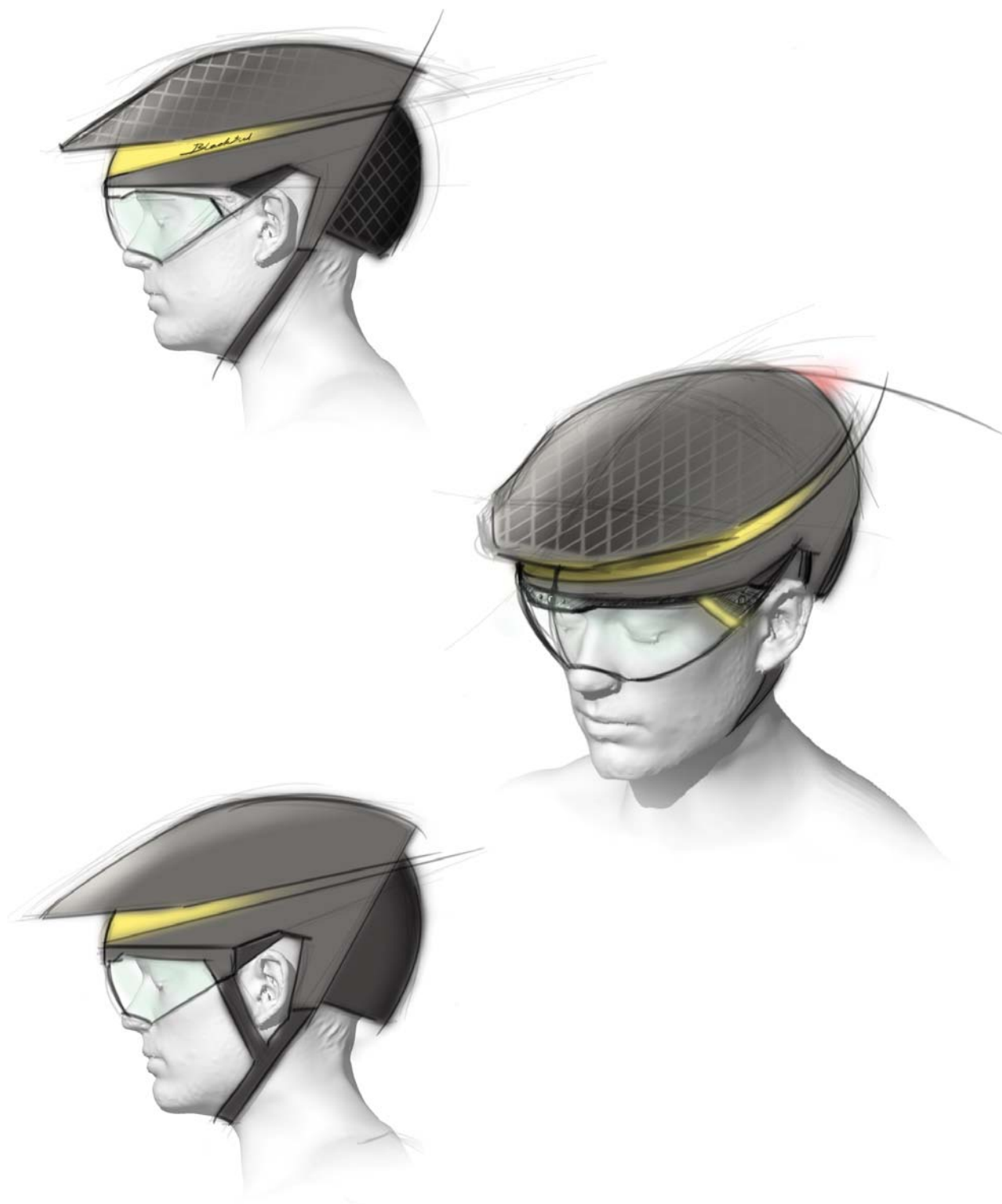


Tento návrh jsem následně rozkresloval a zároveň jsem vytvářel 3D modely. Nepříjemným zjištěním bylo, že přilba je vpředu velká. Tento návrh jsem se tedy rozhodl výrazně pozměnit.

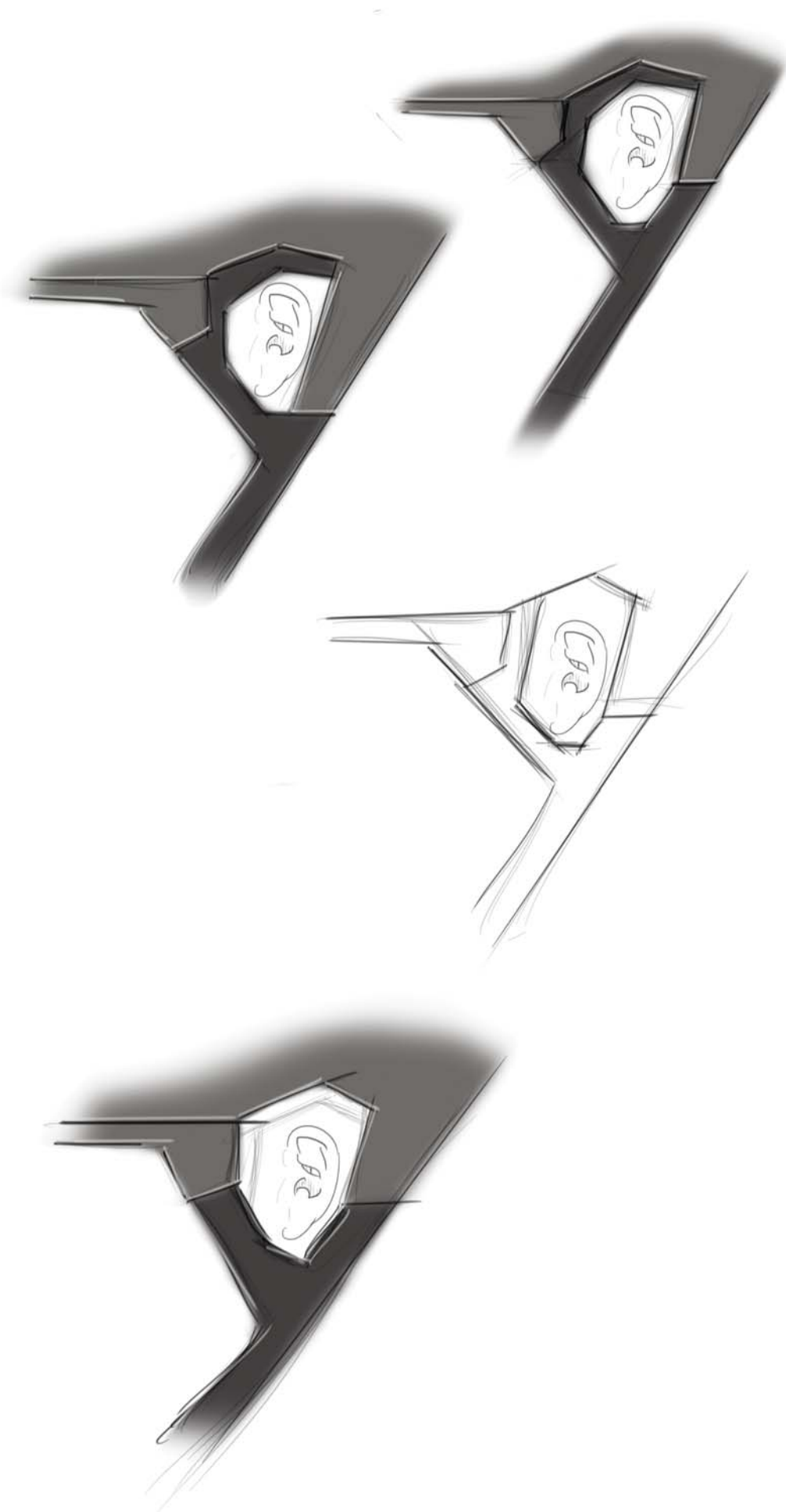


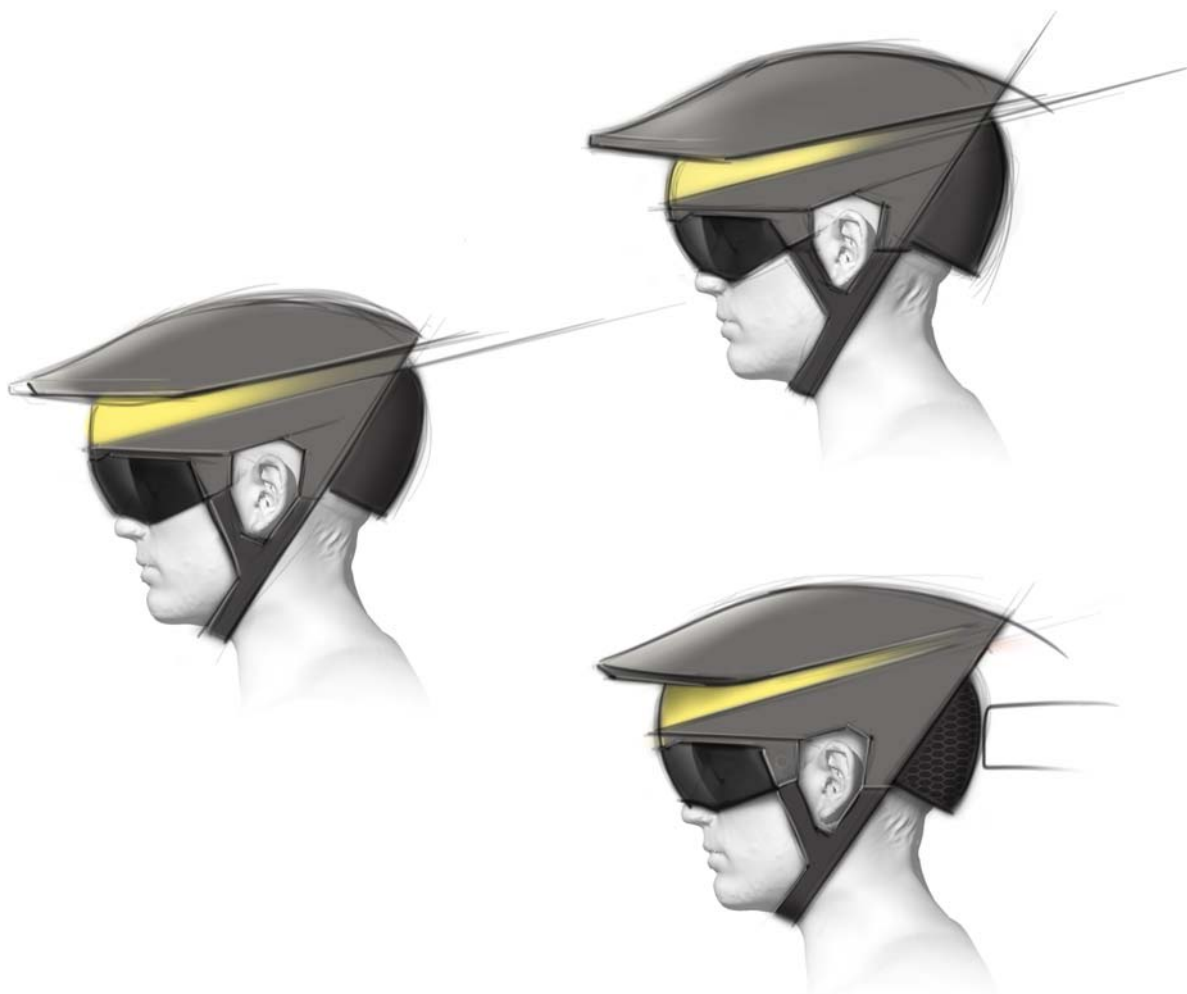
3.4 Verianta čtvrtá

Varianta čtvrtá a zároveň poslední přímo vychází z předchozí varianty. Snažil jsem se zachovat zadní řez a odhalenou strukturu v zadní části. Co jsem ale chtěl změnit, byla celá přední část, která se mi u předchozího návrhu vůbec nelíbila. Také mě napadlo, že kdybych veškeré optické senzory přesunul přímo z přilby do odnímatelného vizoru, značně bych zmenšil přední část, zabránil bych také zbytečnému ubírání materiálu z vnitřní vrstvy a náročnému návrhu vedení přes celou přilbu. Zároveň jsem se vrátil k myšlence kšiltu z prvního návrhu. V tomto případě jsem ale o kšiltu uvažoval jako o pevné součásti přilby. Dále jsem se pokusil zanechat pruh ve středu přilby, který v předchozím návrhu fungoval jako prolis, jenž spojoval dvě rozdílné velké části přilby. Zde slouží pouze jako estetický prvek.



Při rozkreslování detailů jsem se ze začátku soustředil hlavně na okolí ucha, které nefungovalo jak s uchem, tak se zbytkem přilby. Po několika úpravách jsem vybral jednu prozatímní verzi, se kterou jsem v pozdějších úpravách pracoval.

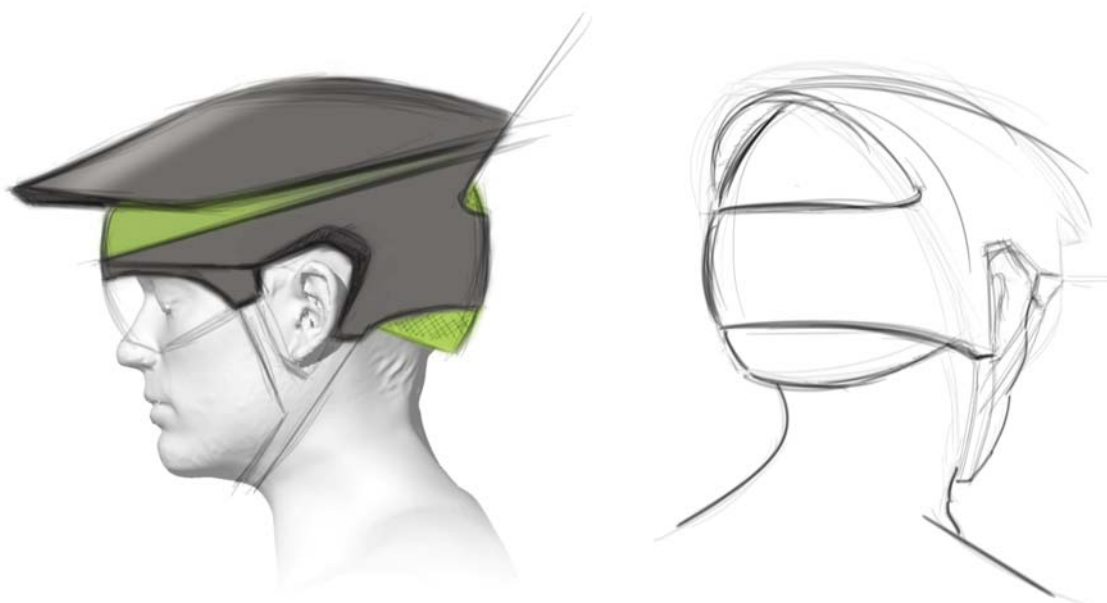


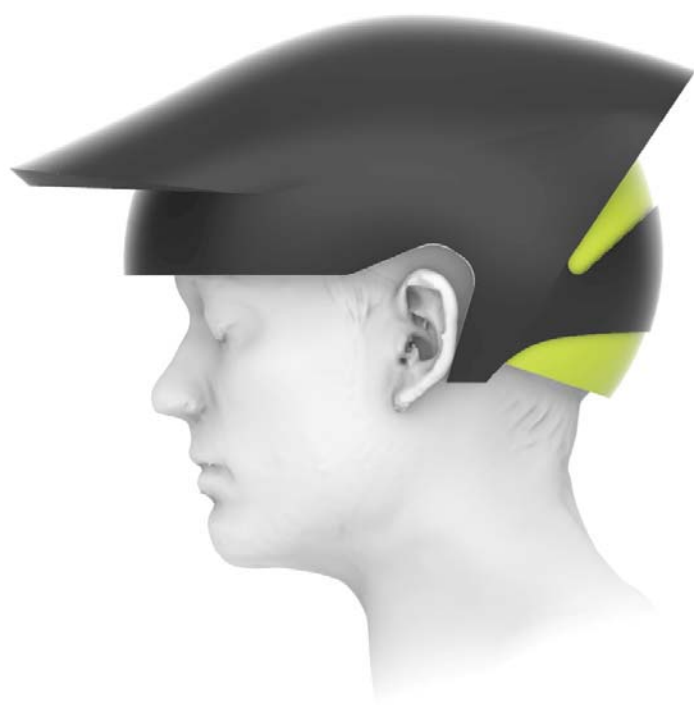


Dalším prvkem, na který jsem se zaměřil, byl právě boční pruh. Chtěl jsem, aby mezi kšiltem a zbytkem přilby vznikl volný prostor pro větrání. Abych tento prostor umocnil, zvedal jsem postupně přední část kšiltu, čímž mi na předělu kšiltu a bočního pruhu vznikla zajímavá křivka, se kterou jsem nadále pracoval.



Jedním z problémů, který bylo potřeba řešit, byl, že při kompletně odhalené zadní části vnitřní vrstvy vzniká nebezpečí, kdy při pádu cyklisty dozadu ochrana, kterou materiál vnitřní vrstvy poskytuje, není dostatečná. Kvůli vysoké pružnosti materiálu by mohlo dojít k soustředění napětí do malé plochy, kterou by tento materiál přenesl na hlavu uživatele. Tento problém řeší právě vnější pevná skořepina, která toto napětí rozprostře po větší ploše. Proto bylo potřeba vytvořit v zadní části kryt, který by tento nedostatek řešil.



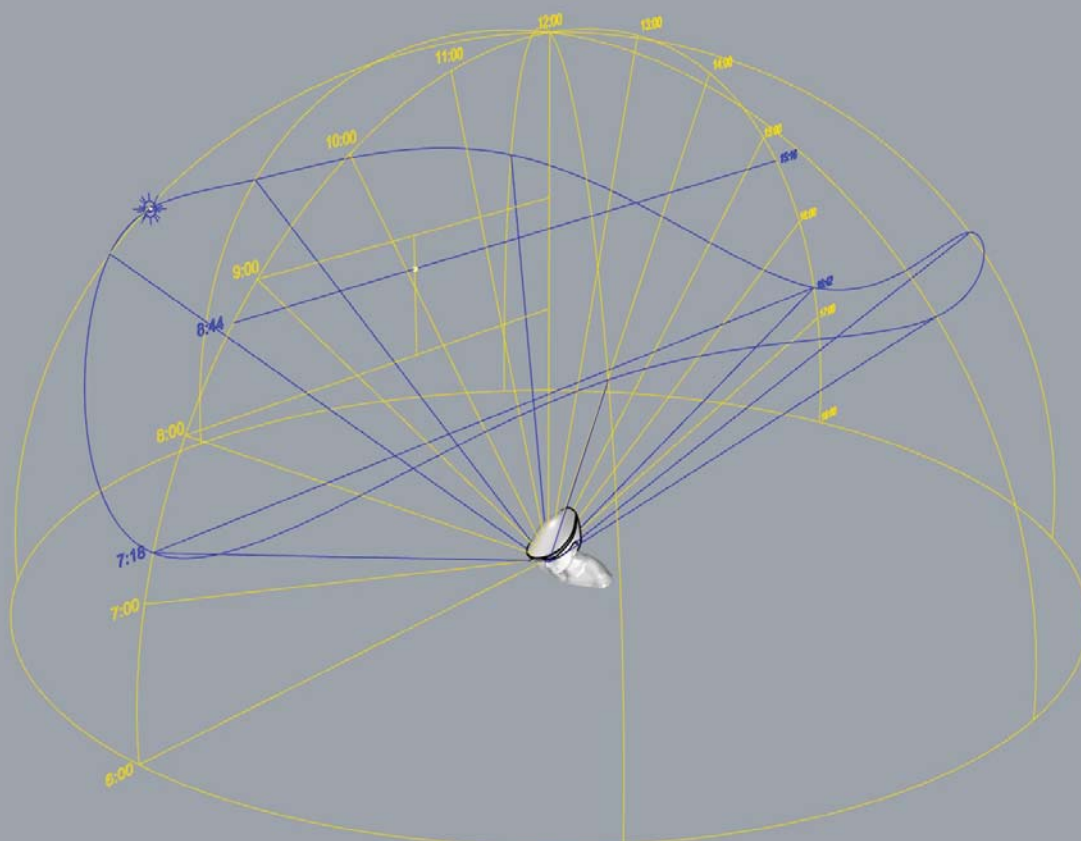


Dalším problémem bylo samotné umístění kšiltu. Ten se zdál být moc vysoko, a tudíž by neplnil funkci stínění. Zadrhel byl také v předimenzování vnitřní vrstvy, čímž jsem zvětšil celou přilbu, což nepůsobilo dobře. Upravením velikosti vnitřní vrstvy jsem docílil jak optického zmenšení přilby, tak snížení kšiltu. Pro ověření správného umístění kšiltu jsem vytvořil studii slunečního svitu pomocí 3D modelu v programu Rhinoceros 6.

Tato studie vycházela ze zjednodušeného modelu pozice slunce podle času. Tento model se běžně používá pro měření času na slunečních hodinách. Pro mou studii, ale plně dostačoval. Tento model pracuje na principu, že se úhel svitu slunce s každou hodinu zvětší o 15° , kdy počítá s východem slunce v 6:00 a se západem slunce v 18:00. Zároveň jsem bral v potaz pozici cyklisty vůči slunci.



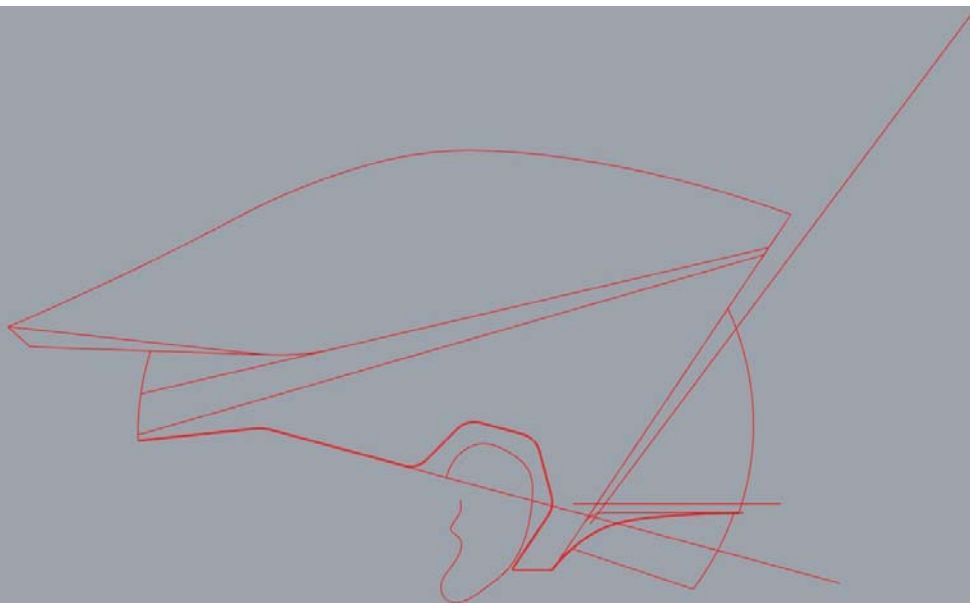
Výsledkem této studie byla křivka, která závisí na čase a pozici cyklisty. Vyznačuje hranici, nad kterou je cyklista plně chráněn před sluncem.



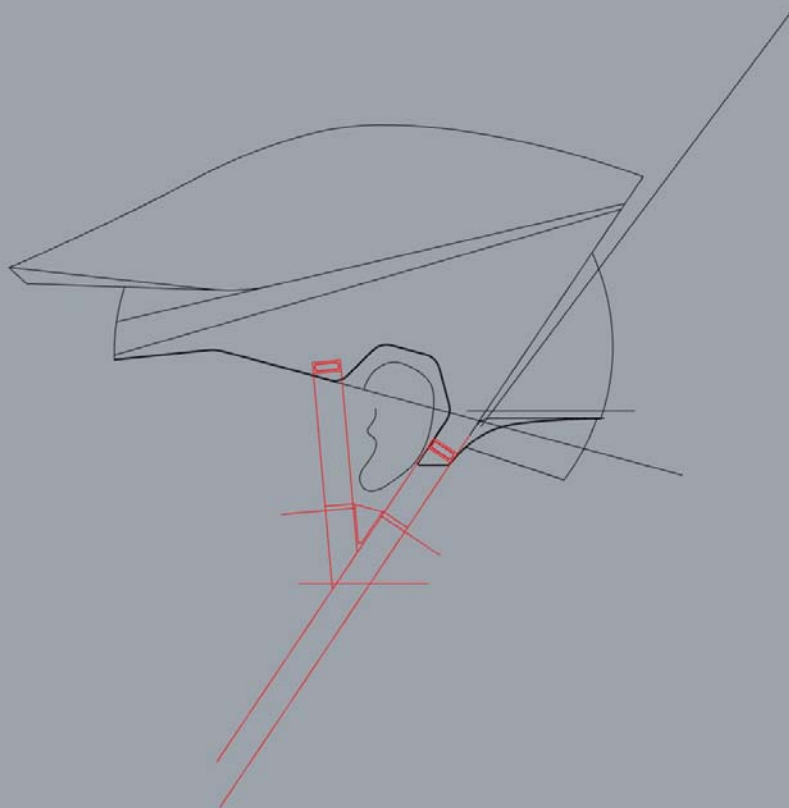
Následovala poslední změna v koncepci přilby, a to změna vizoru. Nakonec jsem se rozhodl vizor pojmout jako brýle, které ponesou optické senzory a se samotnou přilbou budou propojeny pomocí plošného kontaktu na zadní straně brýlí. Brýle by zároveň byly přidržovány pomocí magnetů a pouze by se lehce opíraly o nos a uši uživatele. Zároveň jsem ještě kompletně změnil křivku kolem ucha, kterou jsem více přiblížil tvaru šestiúhelníku.



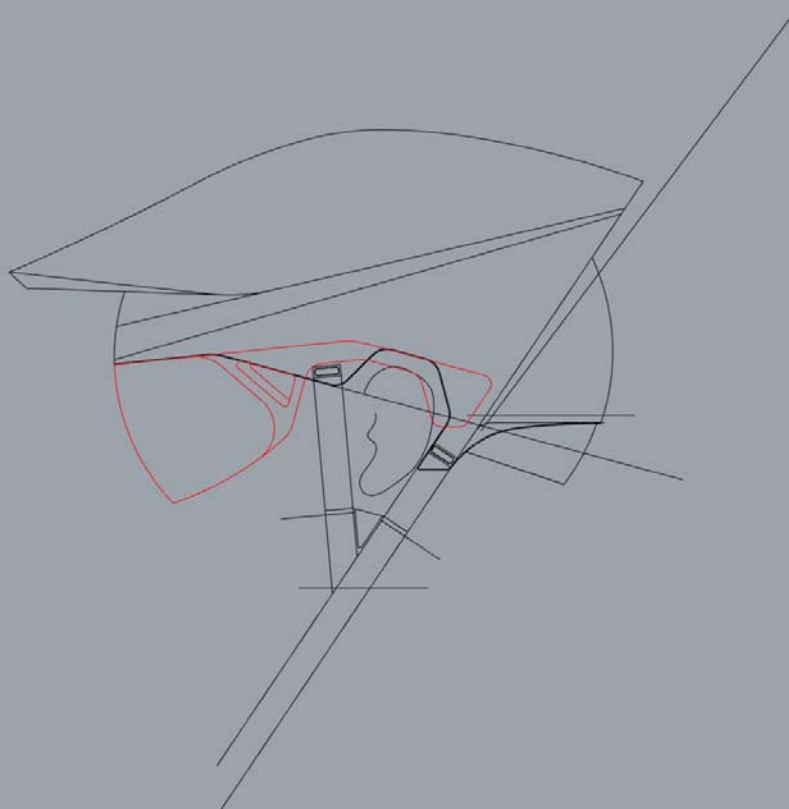
Po této koncepční úpravě jsem veškeré úpravy prováděl výhradně při 3D modelování. Při samotném modelování jsem pracoval se softwaru Rhinoceros 6, popř. Rhinoceros 5.



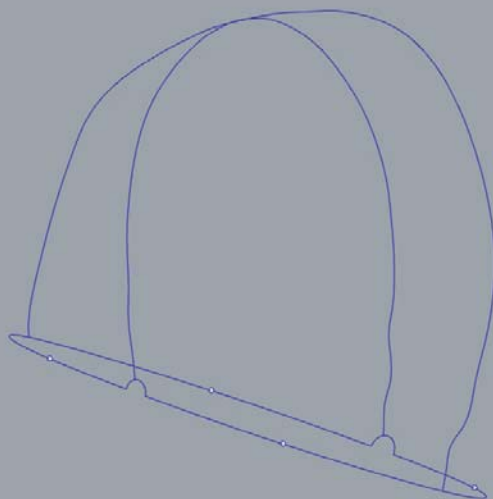
Základem pro modelování přilby byla vnitřní vrstva, která vychází se skenu hlavy. Modelování v softwarech Rhinoceros je založeno na modelování ploch pomocí křivek. Nejdříve jsem vytvořil ořezové křivky přilby z profilu, tzn. křivky, kterými jsem řídil tvar přilby z profilu a používal pro ořezání ploch do požadovaných tvarů.



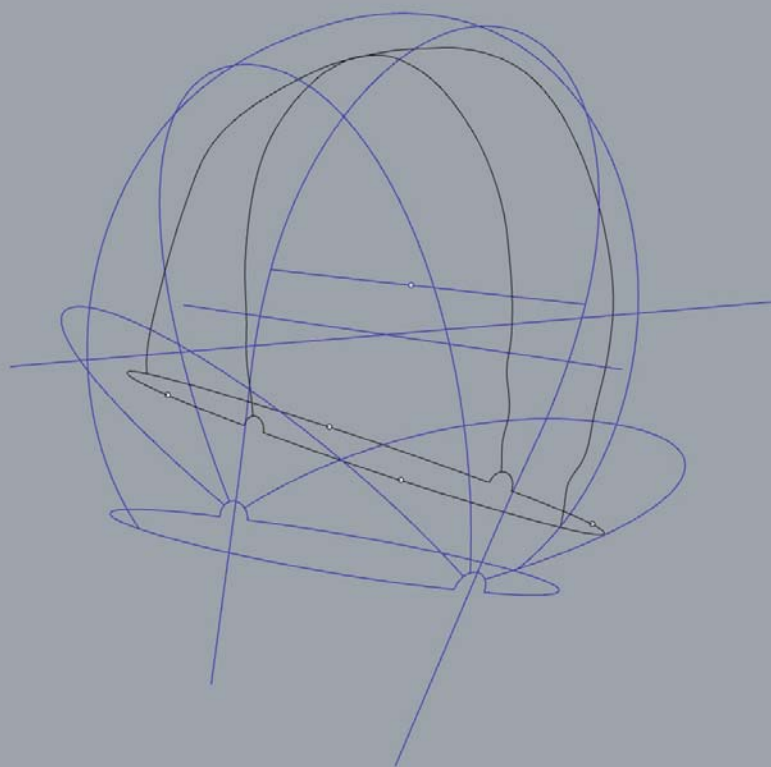
V základu se jednalo o křivky samotné přilby, později jsem musel dotvořit křivky pro pásky a pro brýle.



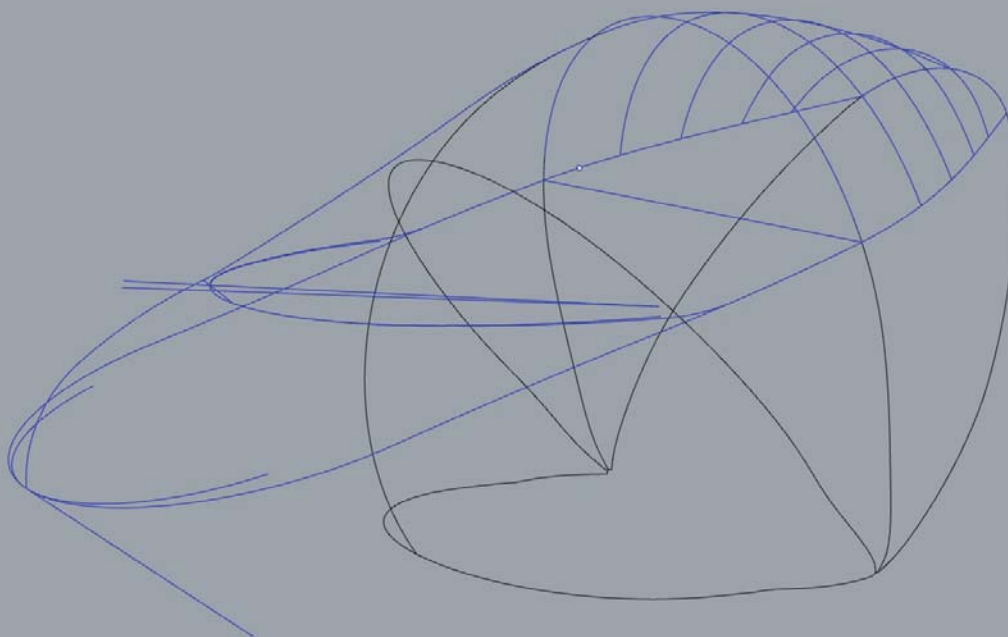
Poté bylo potřeba získat základní plochu hlavy. Jelikož sken hlavy je vždy vytvořen jako mesh neboli síť, kterou nelze pořádně transformovat na plochu, bylo potřeba promítnout několik křivek na plochu hlavy. Tím jsem získal takzvanou síť křivek, ze které se dá následně vytvořit plocha. Tímto způsobem jsem vytvořil vnitřní plochu vnitřní vrstvy.



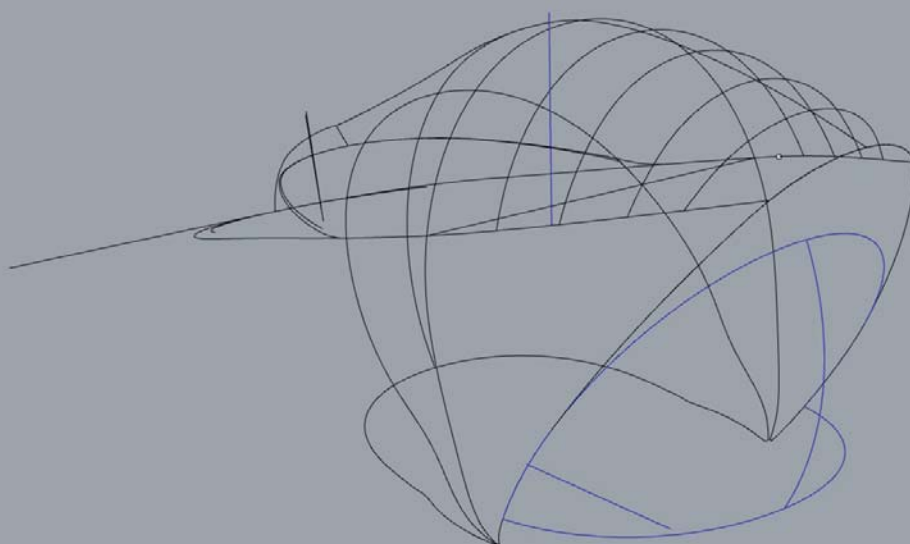
Pro získání vnější plochy této vrstvy jsem musel vytvořit křivky tak, abych z nich opět vytvořil síť.



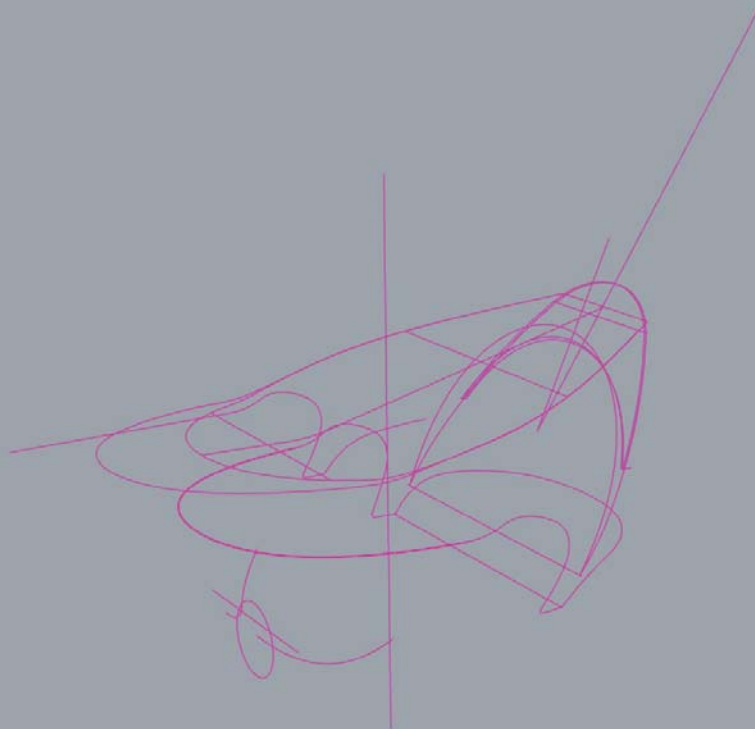
Tato vnější plocha už musela být symetrická, jelikož od tohoto tvaru se následně odvíjel tvar vnější skořepiny samotné přilby.



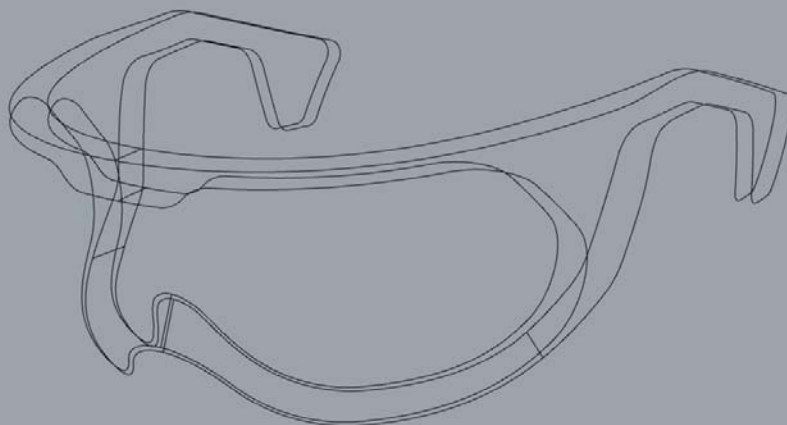
U vnější skořepiny bylo kvůli relativní složitosti tvaru nutné vytvořit 3 různé sítě křivek. Jedna pro základní tvar, jedna pro horní část s kšiletem a jedna pro zadní kryt.



Tímto způsobem jsem vymodeloval vnější plochu vnější skořepiny. Pro vymodelování jsem použil identický postup. Potom jsem z vytvořených ploch pomocí již zmíněných ořezových křivek získal požadovaný tvar přilby. Pro doplnění detailů, jako jsou například zmenšující se spáry, které ohraničují pruh ve středu přilby, jsem ještě musel vytvořit pomocné křivky.



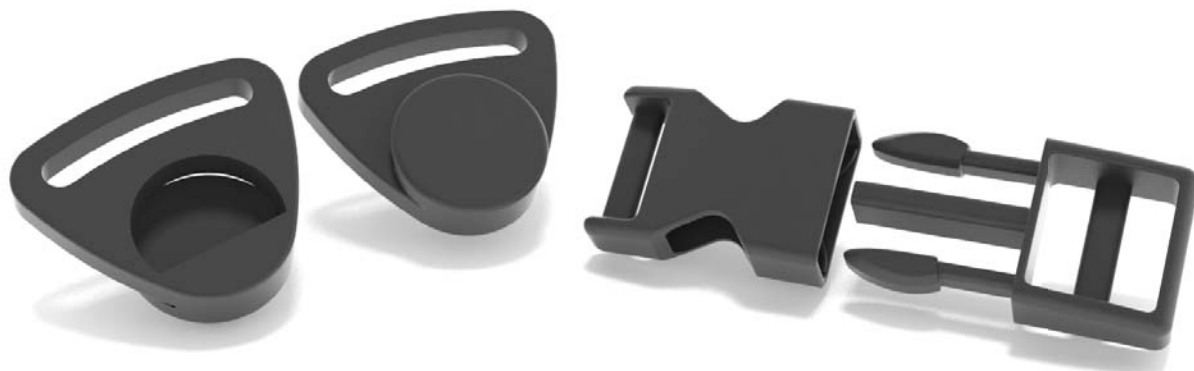
Pro vymodelování správného tvaru brýlí jsem musel ještě dotvořit pomocné křivky speciálně pro brýle. Samotné brýle vychází také z tvaru helmy, a to tak, aby brýle do přilby pěkně zapadly.

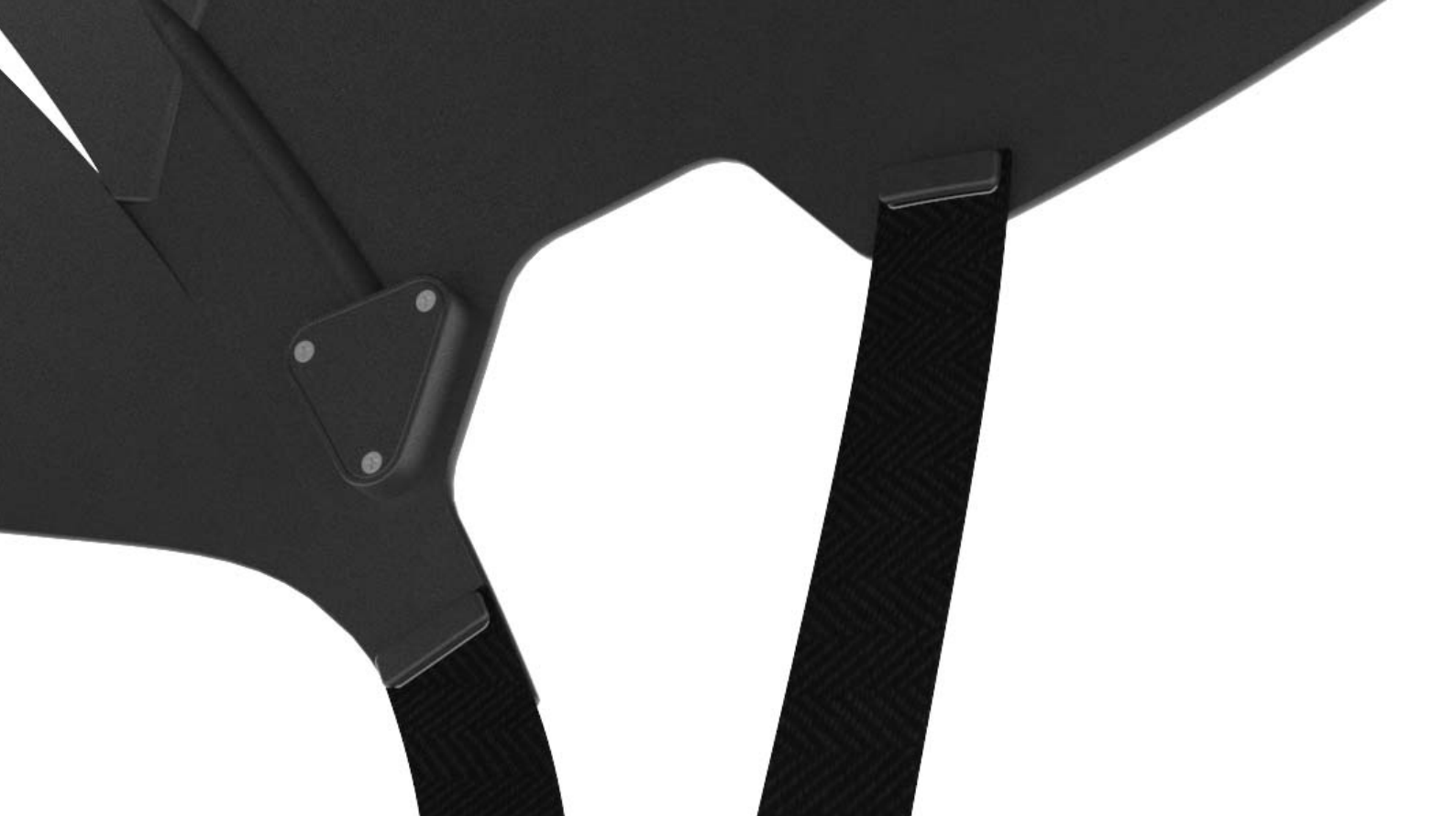


Po tomto procesu jsem získal první model tohoto návrhu, tzn. model vnější skořepiny, provizorní model vnitřní vrstvy a model brýlí. Model pásků jsem vytvořil provizorně, abych viděl, jestli jsem je umístil správně. Od této chvíle jsem začal používat plug-in V-ray 2 pro Rhinoceros 5, což je software specializovaný pro renderování modelů.



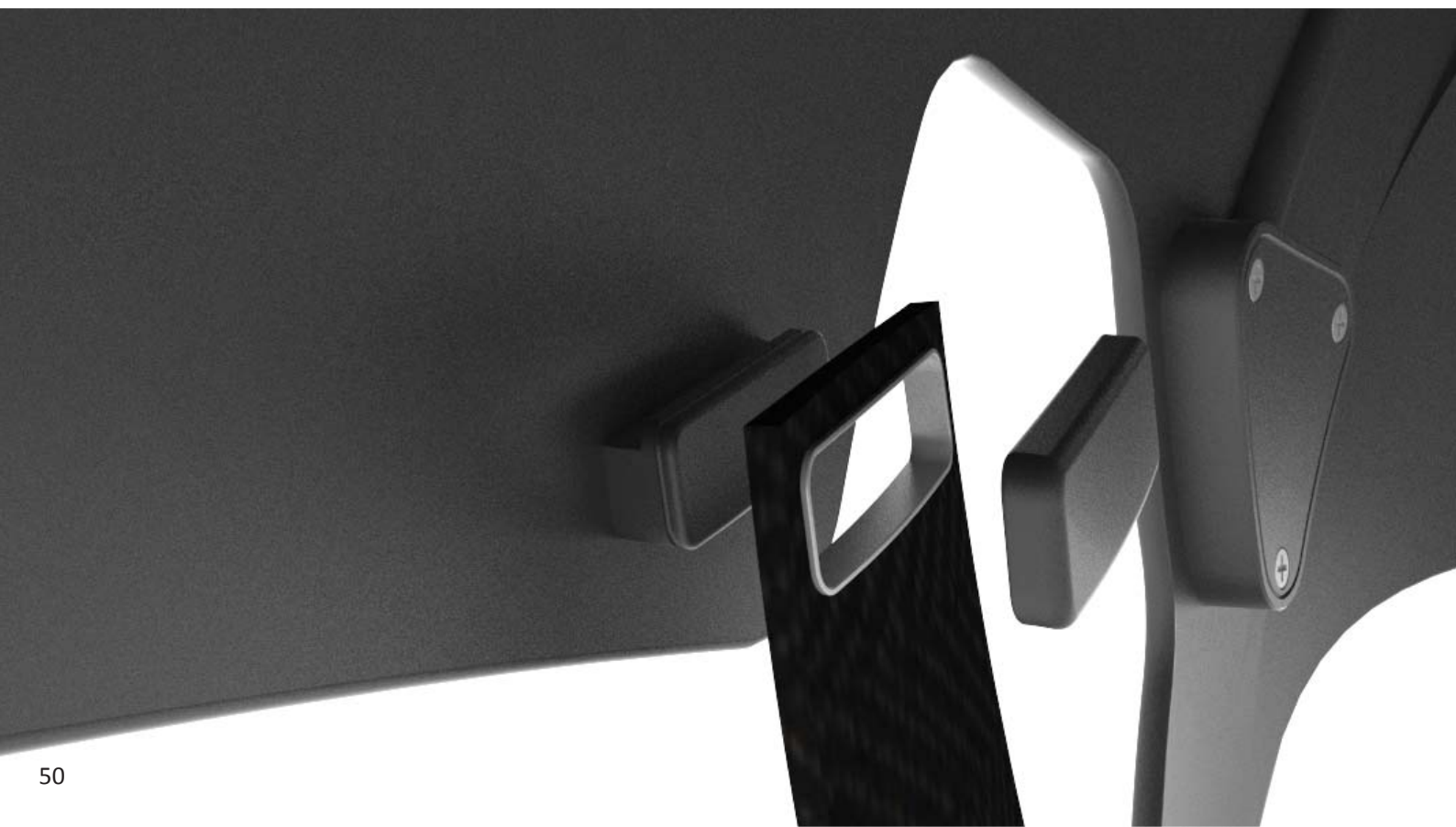
Jelikož jsem pásky umístil přesně podle svých představ, rozhodl jsem se je upravit do finální podoby. Toho jsem docílil vymodelováním klasické trojzubcové spony pro spojení pásků a průvlečné spony pro jejich úpravu na stranách.





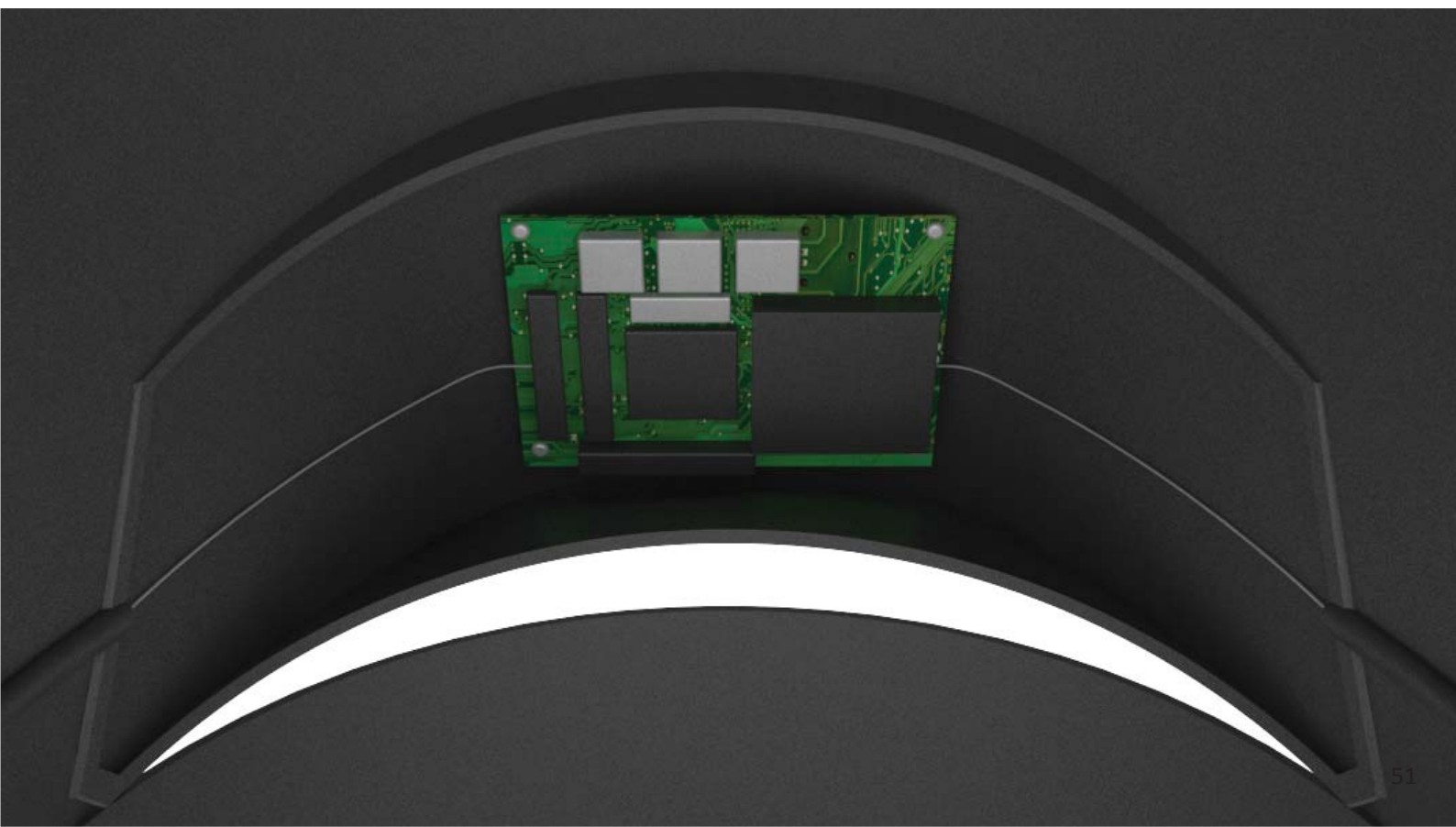
Následně jsem řešil uchycení pásků. Jak jsem již zmiňoval, původně jsem plánoval vytvořit pásky jako součást vnitřní vrstvy. To se ale neukázalo jako dobrý nápad, jelikož pásky by měly být připevněny přímo na vnější skořepinu. Tím by se zajistilo pevné uchycení přilby na hlavě a eliminovala by se možnost odepnutí vnitřní vrstvy od vnější skořepiny. Proto jsem volil variantu uchycení přímo na vnější skořepinu. Prvky uchycení jsem navrhl jako výčnělky s drážkou, na které se pásek nasune a zapadne do drážky. Pásek se nakonec pojistí nacvaknutím krytu.

Protože jsem byl s návrhem spokojený, rozhodl jsem se zároveň řešit prostor pro SMART prvky a vedení. Věděl jsem, že chci tento prostor umístit v zadní části přilby, kde díky návrhu vznikl volný prostor, který by se dal využít právě pro tento účel. Jelikož nositelem některých chytrých prvků mají být brýle, bylo potřeba je nějakým způsobem spojit. Rozhodl jsem se použít plošný kontakt s doprovodným magnetem pro přidržování brýl na místě. Kvůli tomu bylo potřeba vymodelovat prostor pro vedení a tento kontakt.





V prostoru pro SMART prvky jsem zároveň zamýšlel uložit LED pásy pro zadní osvětlení. To mělo prosvítat skrze perforace v zadní části. Ty by zároveň sloužily jako větrání, což by mělo zajistit, aby se součástky nepřehřívaly.



Jako hlavní SMART prvek jsem zvolil zařízení pro bluetooth připojení. To proto, že by přilba byla propojená se smartphonem, ve kterém by uživatel mohl pomocí aplikace měnit nastavení zobrazovaných prvků. Zároveň by tato přilba používala ze smartphonu nějaké funkce, jako například GPS, který by zároveň sloužil jako akcelerometr pro měření rychlosti cyklisty. Zároveň jsem zvažoval možnost integrace fitness prvků v aplikaci, která by po vyplnění tělesných údajů vypočítala kalorický výdej. V přilbě by se také nacházel digitální gyroskop, který by plnil funkci sklonoměru, pro zjištění stoupání kopců. V zadní části přilby by se nacházela samotná Li-ion baterie o kapacitě alespoň 2200 mAh.

Další zásadní prvky se nachází přímo v brýlích. Jedná se hlavně o optické prvky. Hlavním prvkem je full HD kamera pro pořízení kvalitního záznamu či fotografií z jízdy. Zároveň by fungovala jako senzor světla pro detekování množství denního světla, čímž by se mohly při stmívání automaticky zapnout světla na přilbě. Ta přední by byla umístěna na obou stranách kamery.



Pro projekci rozšířené reality by se použily mikroprojektory na stranách brýlí zasazené v rámu.

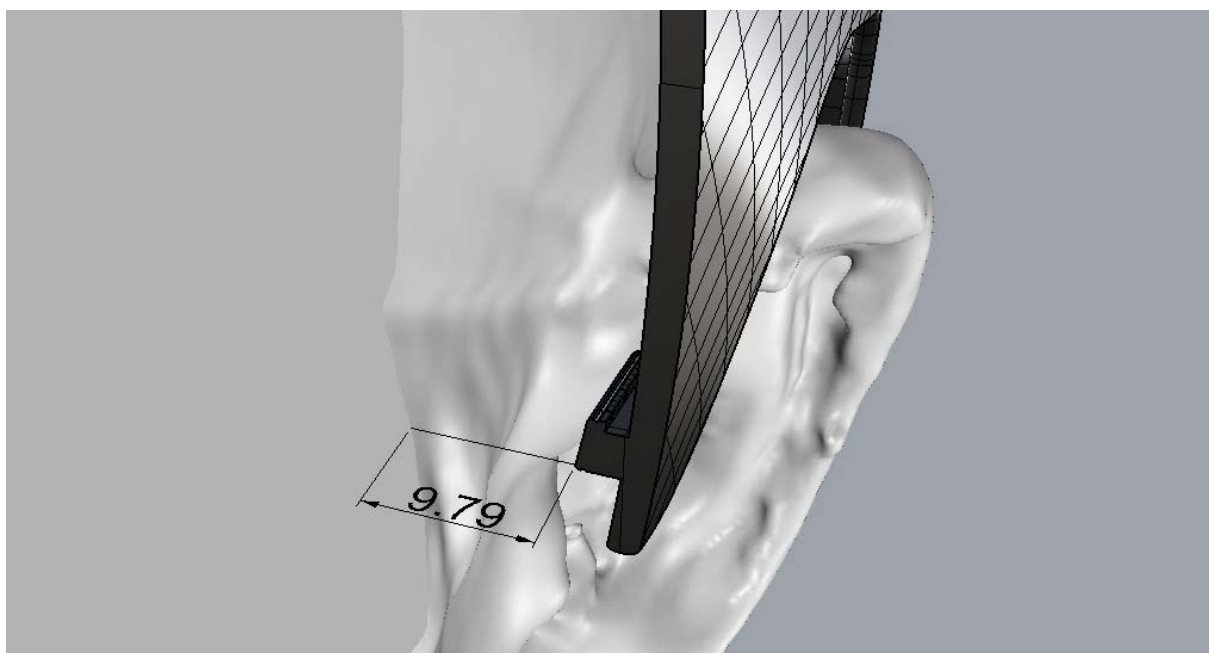


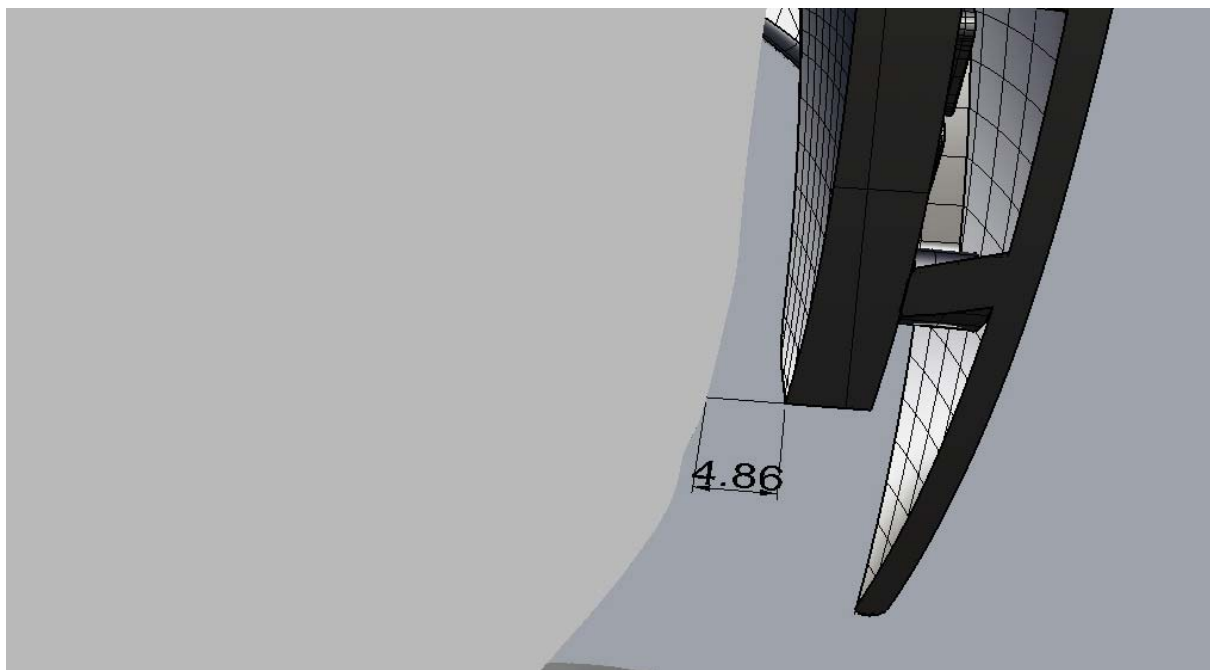
Na zadní straně brýlí naproti čelu cyklisty jsem také umístil senzory pro optický pulsmetr. Ten se obvykle skládá z vysílače a přijímače. Vysílač vyšle světlo, které prosvití danou část těla. Světlo změří objem průtoku krve, který změní intenzitu tohoto světla. To se nakonec odrazí zpět do přijímače, který z těchto údajů vypočítá tep uživatele. Tento způsob bývá často používán například v chytrých hodinkách. Veškerá data senzorů brýlí by se přenesla do zadní části přilby, kde by byly vypočítány potřebné informace.



Samotné brýle jsou potom ještě opatřeny v oblasti nosu silikonovou vložkou pro pohodlné posazení na nose.

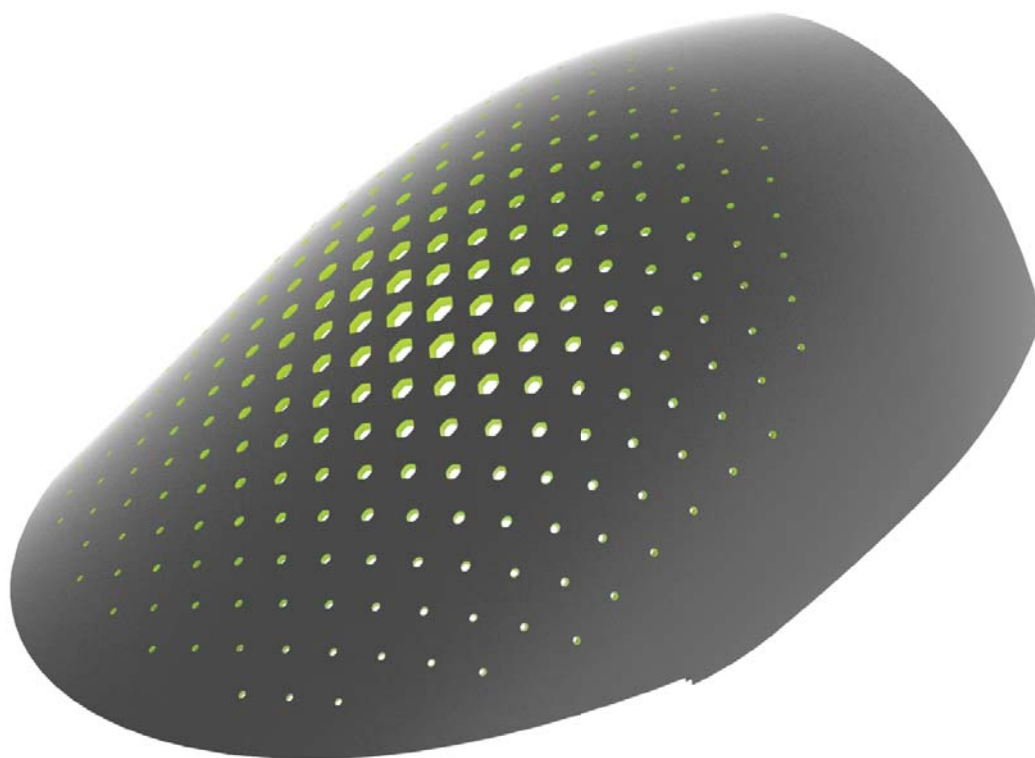
V tuto chvíli vyvstala otázka, jestli boky brýlí, popřípadě systém uchycení pásků, nedoléhá přímo na hlavu uživatele, což by mohlo způsobovat otlaky. Ke kontrole jsem modely prohlédl v řezu v místech, kde takové nebezpečí hrozilo.

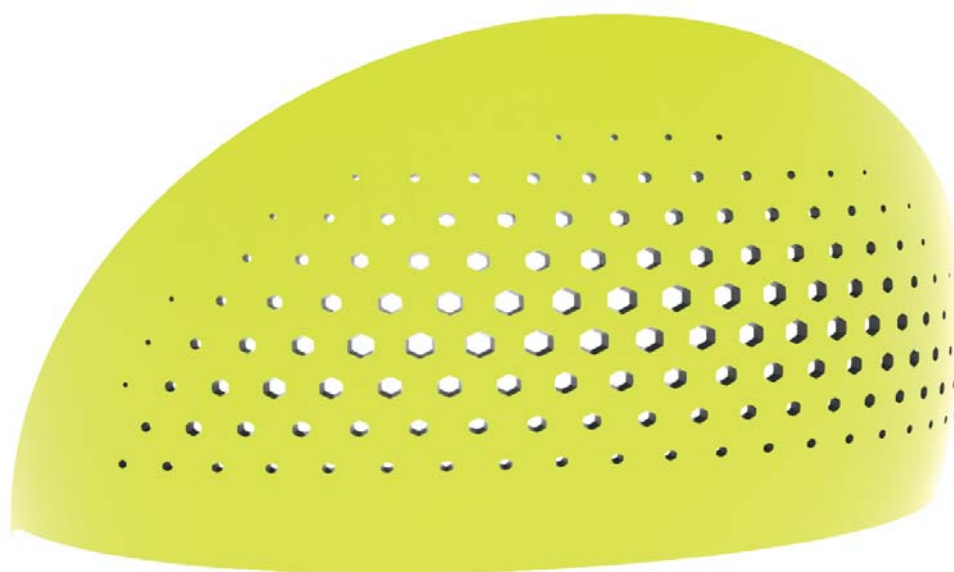




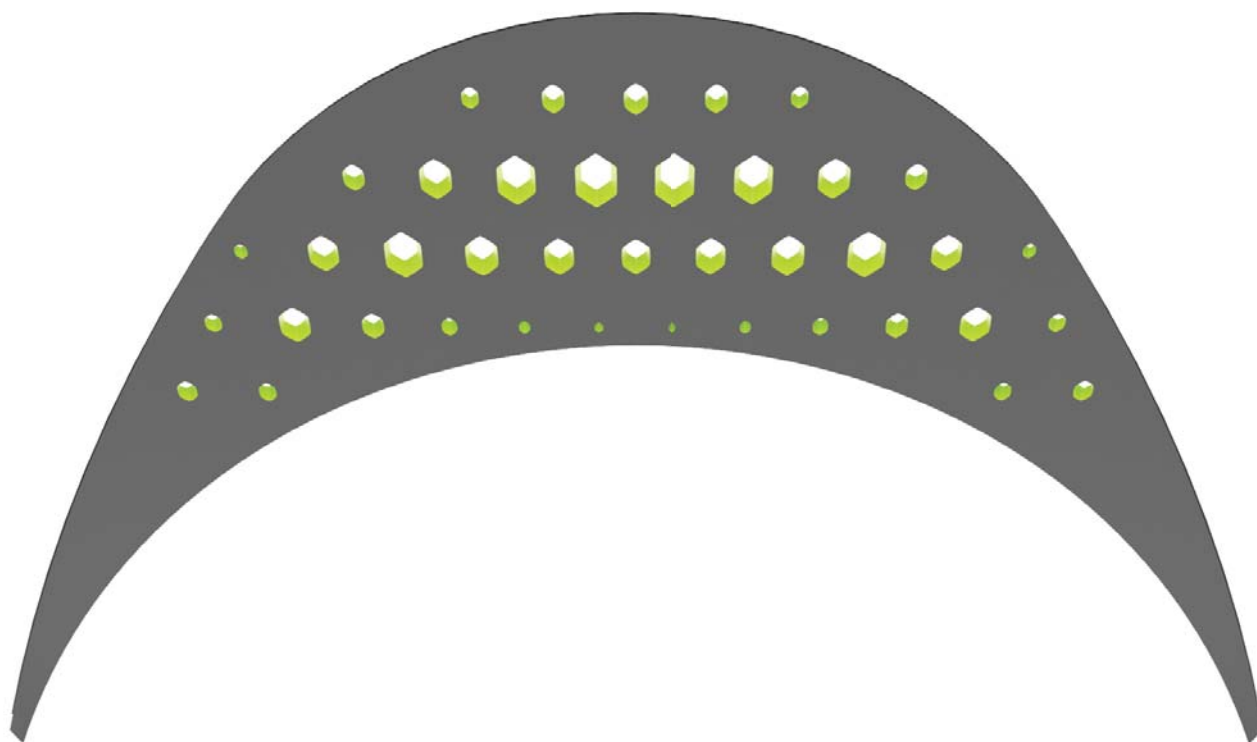
Z tohoto řezu mi bylo jasné, že prvky pro uchycení pásků jsou 9,79 mm daleko od hlavy. Když připočteme milimetrový kryt, vzniká nám prostor 8,79 mm, což je od hlavy dostatečně vzdálené. Stejný test jsem provedl také pro brýle. Řez ukázal, že mezi brýlemi a hlavou bude přibližně prostor 4,86 mm, což je sice méně než v případě uchycení pásků, ale stále je to dostatečně daleko, aby nedocházelo k dotyku, a tím pádem otlaku.

Následujícím krokem bylo vytvoření perforací přilby. Ty jsem chtěl umístit ve třech částech. Na kšiltu v zadní části prostoru pro SMART prvky a na zadním krytu přilby. Chtěl jsem vytvořit více menších perforací ideálně v šestiúhelníkovém poli.





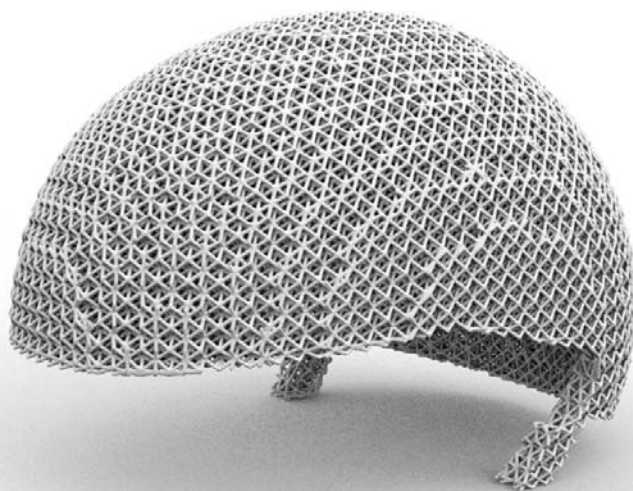
Chtěl jsem, aby perforace byly tvořeny stejnými prvky. Jako prvky jsem zvolil šestiúhelník. Pro ozvláštnění jsem vytvořil část skriptu, která gradientně mění šestiúhelníky na kruhy podle vzdálenosti od hran. Zároveň jsem zhotovil část skriptu, kde se perforace budou zmenšovat podle vzdálenosti od hran.



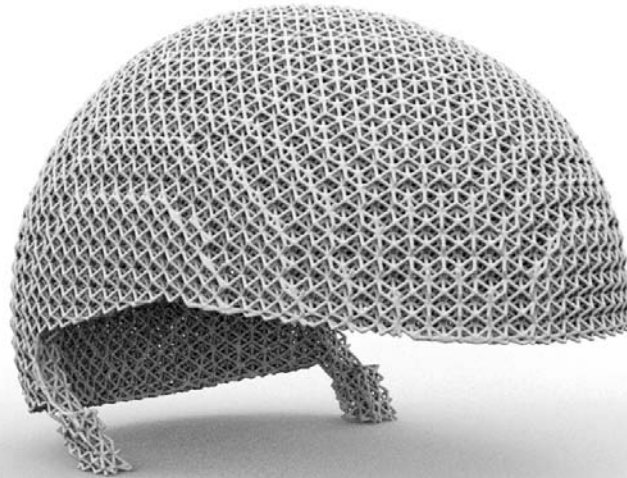
Tyto objekty jsem následně vložil do původního modelu přilby.



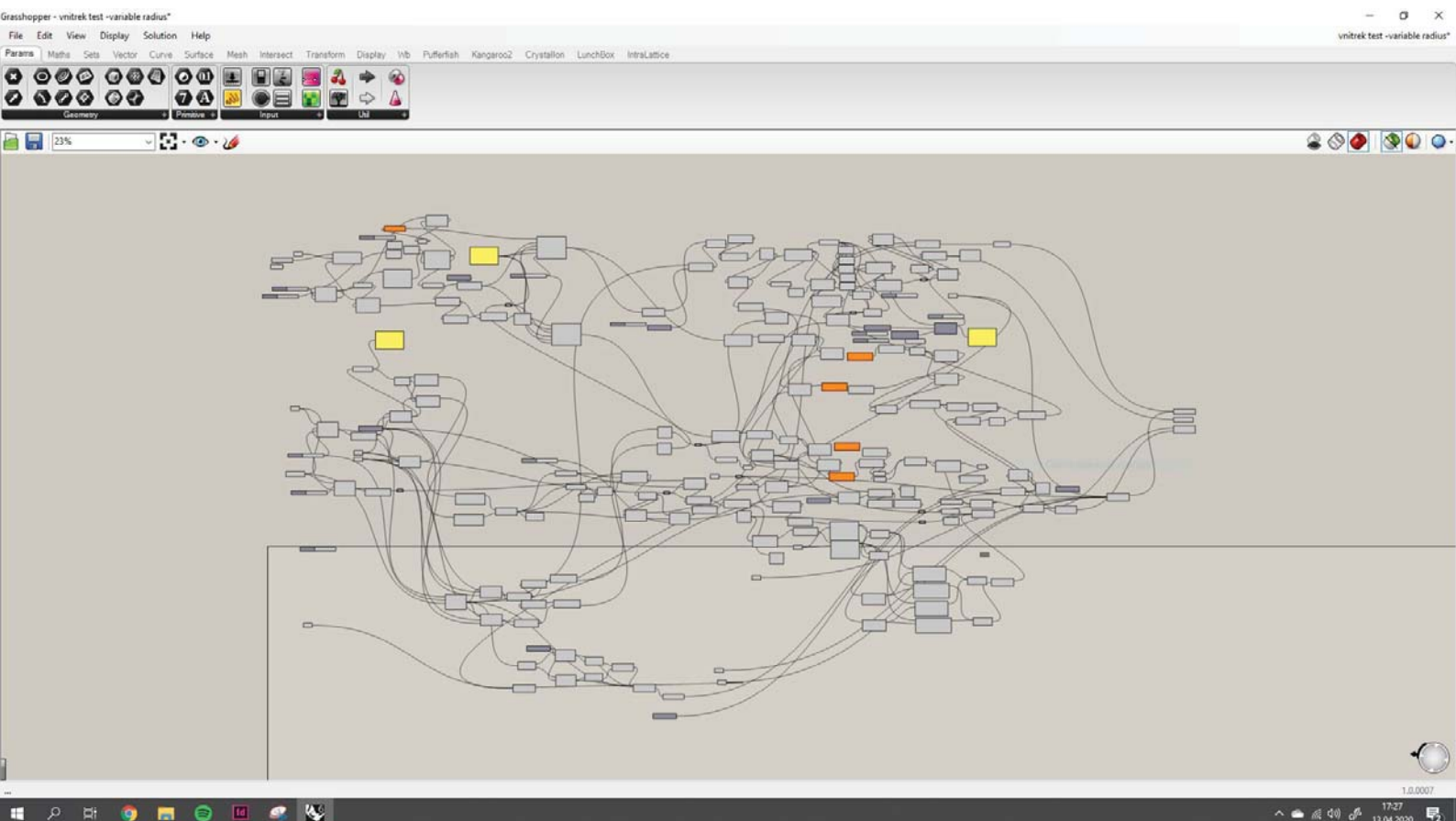
Dalším krokem bylo vytvoření struktury pro vnitřní vrstvu. Nejprve jsem se obrátil na software nTopology free, který jsem použil také v bakalářské práci. V tomto softwaru lze vybrat typ buňky a její velikost. Program potom napamuje tento typ buňky na objekt a vytvoří takzvanou laticce strukturu. Nebyl jsem ale spokojený s tím, jak tato struktura vypadala. Navíc zdaleka nezapadala do myšlenky, kterou jsem měl pro tuto strukturu zformovanou v hlavě. Proto jsem přešel k plug-inu Grasshopper.



Grasshopper je plug-in pro Rhinoceros, který pracuje na bázi objektového programování. Díky tomu je možné při správném uchopení skriptu pracovat s více objekty zároveň. Do tohoto plug-inu se dají stahovat přídavné moduly pro získání nových funkcí. Zkusil jsem doinstalovat modul Crystallon, který funguje jako knihovna typů buněk, jež lze namapovat na objekt, a modul IntraLattice, který funguje na podobné bázi. Skrze tyto moduly jsem vytvořil skript, pomocí kterého jsem dosáhl nové lattice struktury. Tato struktura ale byla v podstatě stejná jako v předchozím případě, takže jsem začal pracovat na novém návrhu.

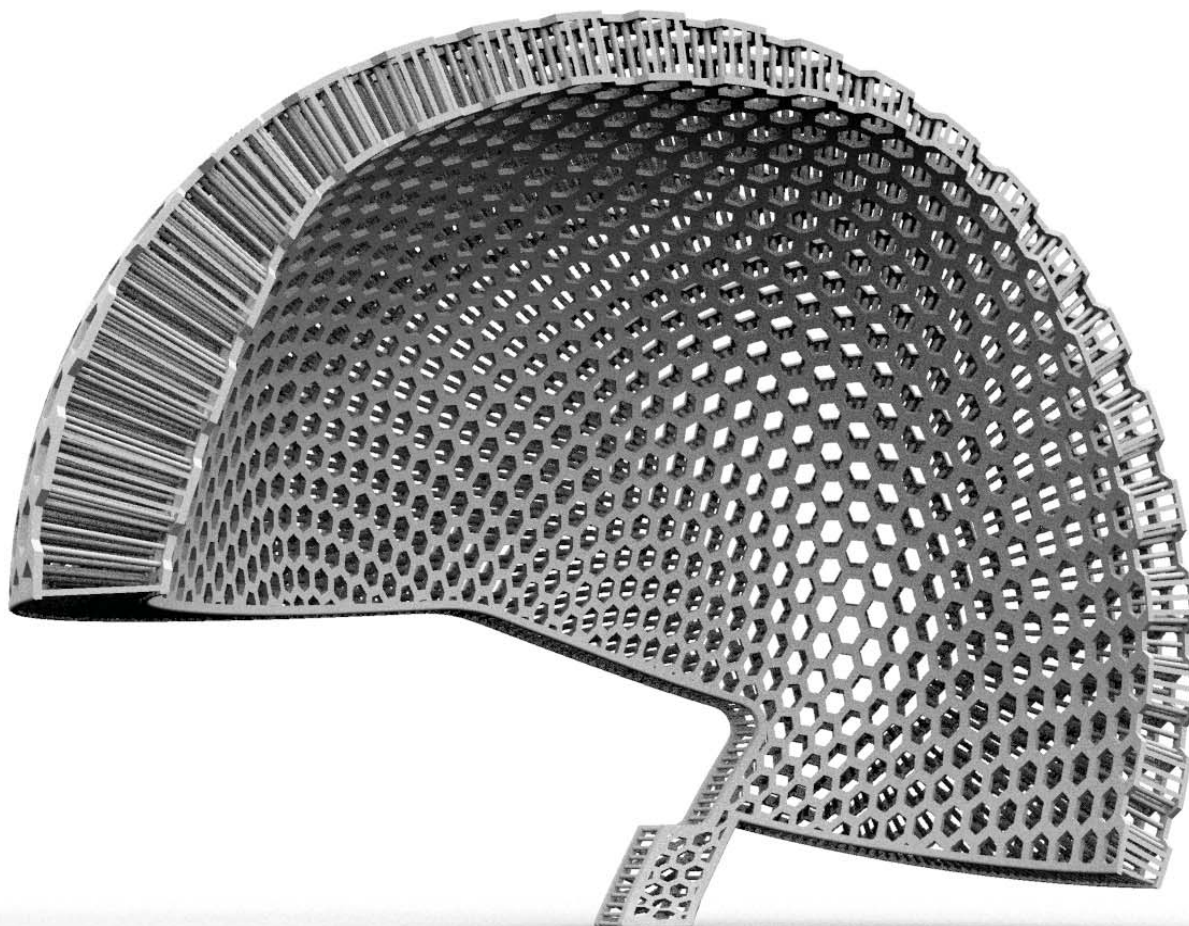


Od začátku jsem přemýšlel nad návrhem, který by kombinoval lattice strukturu a strukturu honey-comb. Nakonec se mi podařilo vytvořit skript, díky kterému jsem dosáhl požadovaného výsledku.





Ve své podstatě se jedná o dvě skořepiny, perforované šestiúhelníkovým polem, které jsou spojeny pomocí sloupků, jež kopírují šestiúhelníkové pole. Původně tyto sloupky měly jednotnou tloušťku 1 mm. Nakonec se mi podařilo skript upravit tak, aby sloupky měly proměnnou tloušťku v závislosti na jejich délce, tzn. čím kratší je sloupek, tím větší tloušťku bude mít. Hodnoty tlouštěk se pohybují od 1 mm do 1,6 mm.

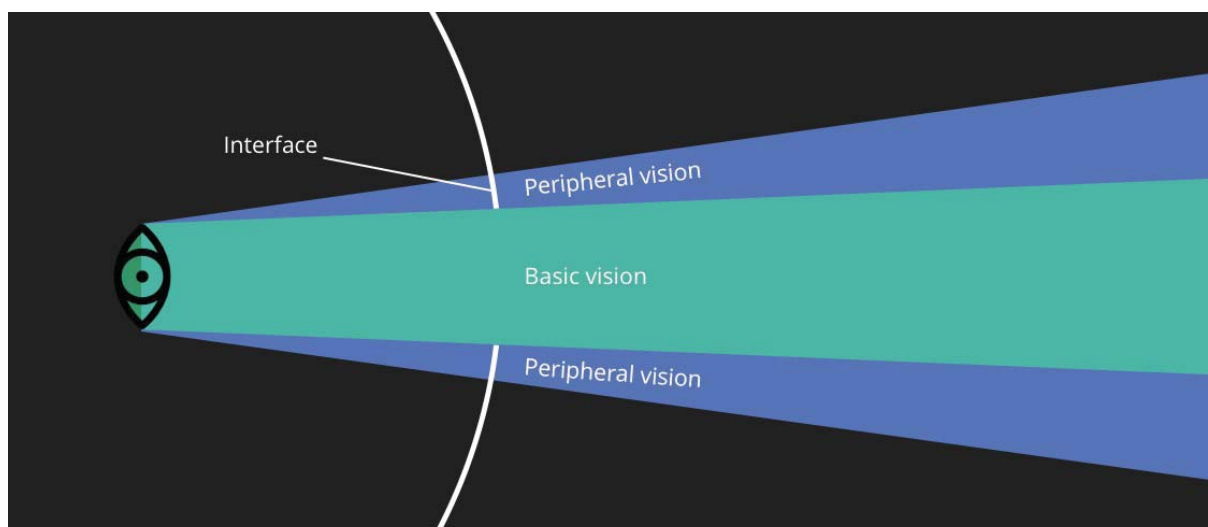


Výhodou této struktury by kromě její prodyšnosti a tím pádem i větrání, díky velkým perforacím, měl být i poměr tuhosti a pružnosti. Jelikož zamýšlený materiál pro tuto vrstvu je TPU, což je termoplastický polyuretan, který je pružný, měla by struktura zajišťovat i požadovaný pohyb do stran, jenž by umožnil hlavě v přilbě při nárazu rotovat a klouzat. Tato vlastnost je důležitá při různých typech bočních nárazů, kdy u pevných vnitřků hlava nemá možnost pohybu a dochází tak častěji k otřesu mozku. Díky velkému množství sloupků, jejichž počet dosahuje téměř 7000, by měla také zajišťovat dostatečnou pevnost při přímých nárazech. K tomu by mělo dopomoci i to, že sloupky se co nejvíce blíží kolmosti k oběma plochám.

Dalším krokem bylo navržení uživatelského rozhraní rozšířené reality. K navržení této grafiky jsem použil programy Adobe Illustrator CS3 a Adobe Photoshop CS3. Snaha byla vytvořit co nejméně rušivé grafické zpracování, které by neomezovalo vidění uživatele. Zároveň jsem chtěl, aby grafika byla jednoduchá a srozumitelná.

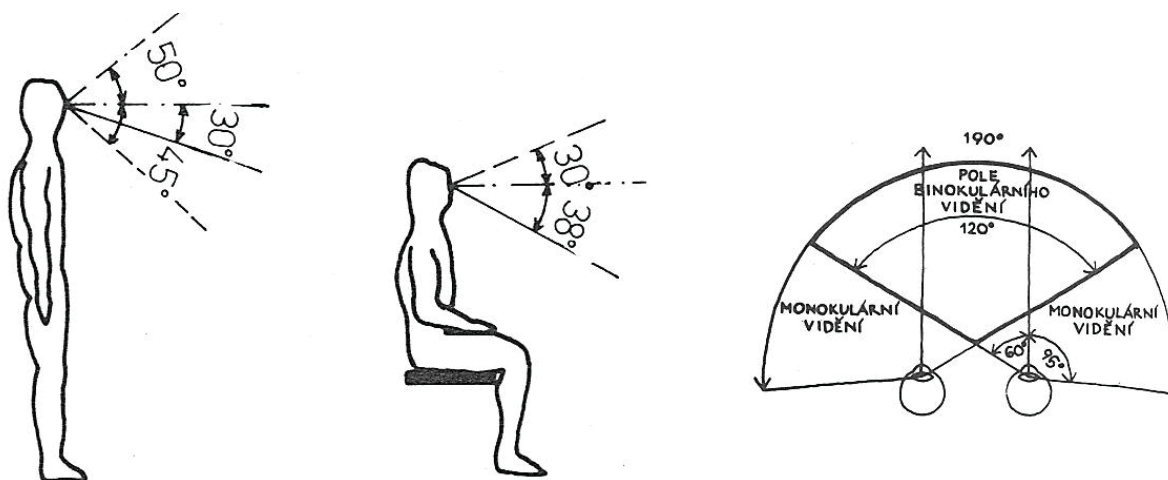


Při návrhu rozmístění jsem vycházel z obrázku 20. Z tohoto obrázku je zřejmé, že prostor přímého vidění by měl obsahovat minimum prvků rozhraní a většina z nich má být umístěna v oblastech periferního vidění.



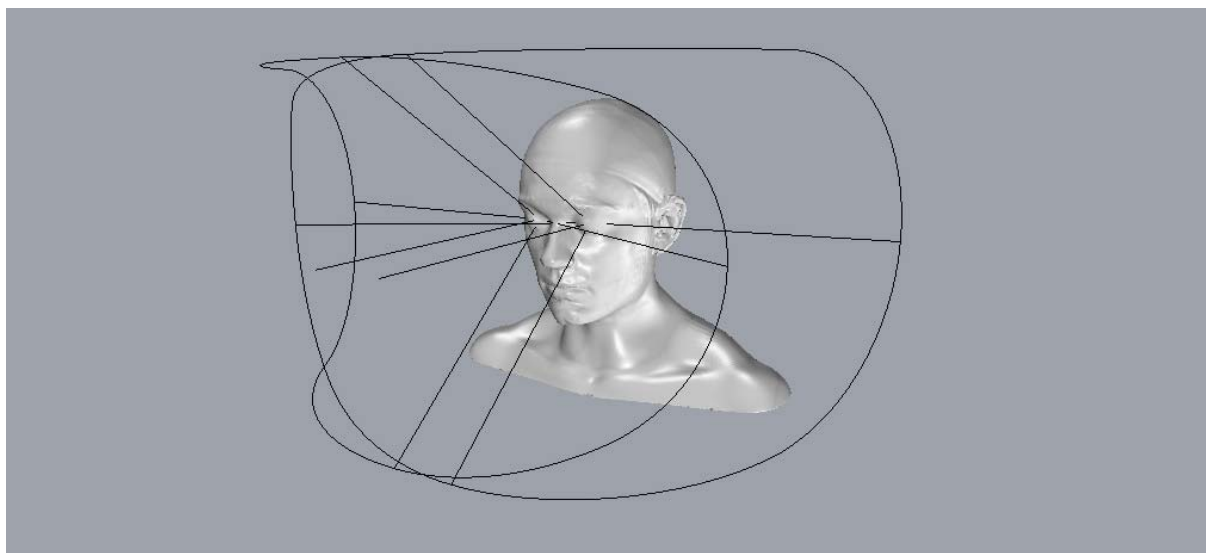
20- Rozvržení uživatelského rozhraní rozšířené reality

Dále bylo potřeba zjistit, jestli jsou prvky správně zasazeny do zorného pole člověka. K tomu bylo potřeba vytvořit studii, která ukazuje, jaká část brýlí se vejde do zorného pole.

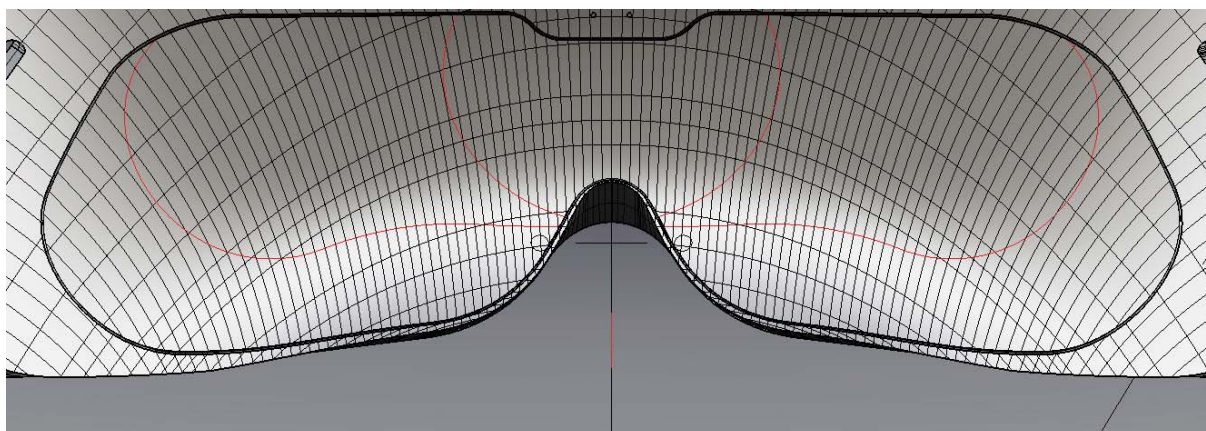


21- Zorný úhel člověka (Štempák, Š.), zorné pole (Chalupský, L.)

K vytvoření této studie jsem použil obrázek 21. V programu Rhinoceros 5 jsem následně vymodeloval 2 koule, které jsem napozicoval do pozice očí skenu hlavy. Z těchto koulí jsem potom vedl křivky pod úhly z obrázku.

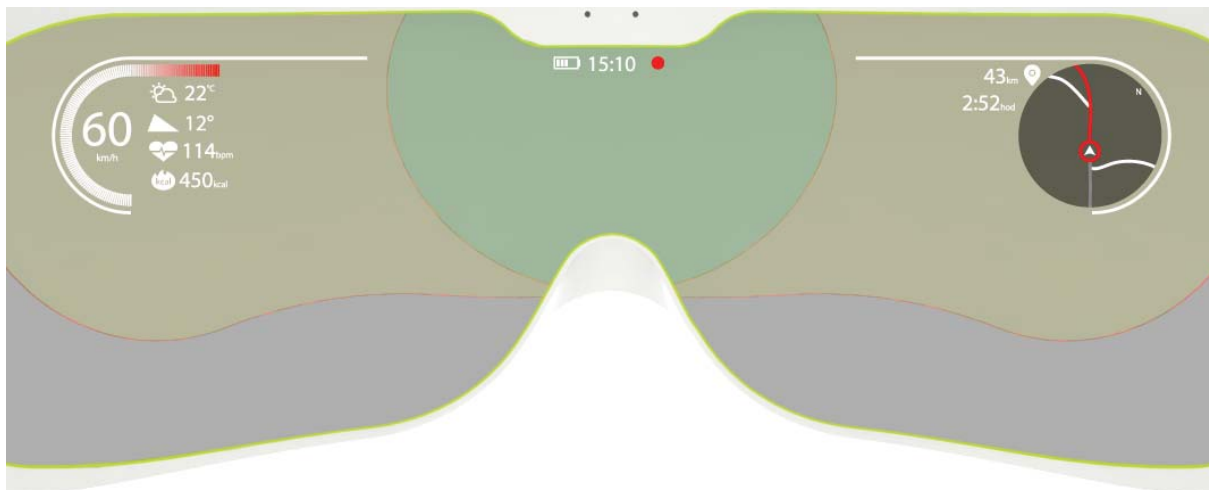


Z těchto křivek jsem vytvořil plochy a zjistil jejich průsečíky se sklem brýlí. Tyto křivky jsem následně vyrenderoval společně s brýlemi a v programu Photoshop jsem vyznačil místa vidění.



Zeleně jsem vyznačil místo binokulárního vidění, tedy místo, které sledují obě oči zároveň. Do tohoto místa by mělo zasahovat co nejméně prvků, aby nebylo vidění uživatele rozptylováno. Žluté oblasti jsou oblasti monokulárního neboli periferního vidění. To jsou oblasti, které sleduje pouze jedno oko. Tyto oblasti jsou vhodné pro umístění prvků rozšířené reality, jelikož uživatele nerozptylují a nepůsobí jako překážka vidění.

Do takto upraveného obrázku jsem zasadil vytvořenou grafiku, abych zkontroloval, jestli jsem umístil prvky tak, jak bych měl. Z kontroly je zřejmé, že jsem prvky umístil ideálně. Do prostoru přímého vidění jsem umístil pouze čas, stav baterie a indikaci nahrávání. Tyto prvky jsem tam vložil jako základní informace. Navíc místo, které zabírají, je minimální a nemělo by vidění bránit žádným zásadním způsobem. Ostatní prvky, kterými jsou rychlost, teplota, stoupání, srdeční tep, množství spálených kalorií, navigace, vzdálenost k cíli a čas zbývající k dosažení cíle, jsem umístil do levé, respektive pravé oblasti periferního vidění.

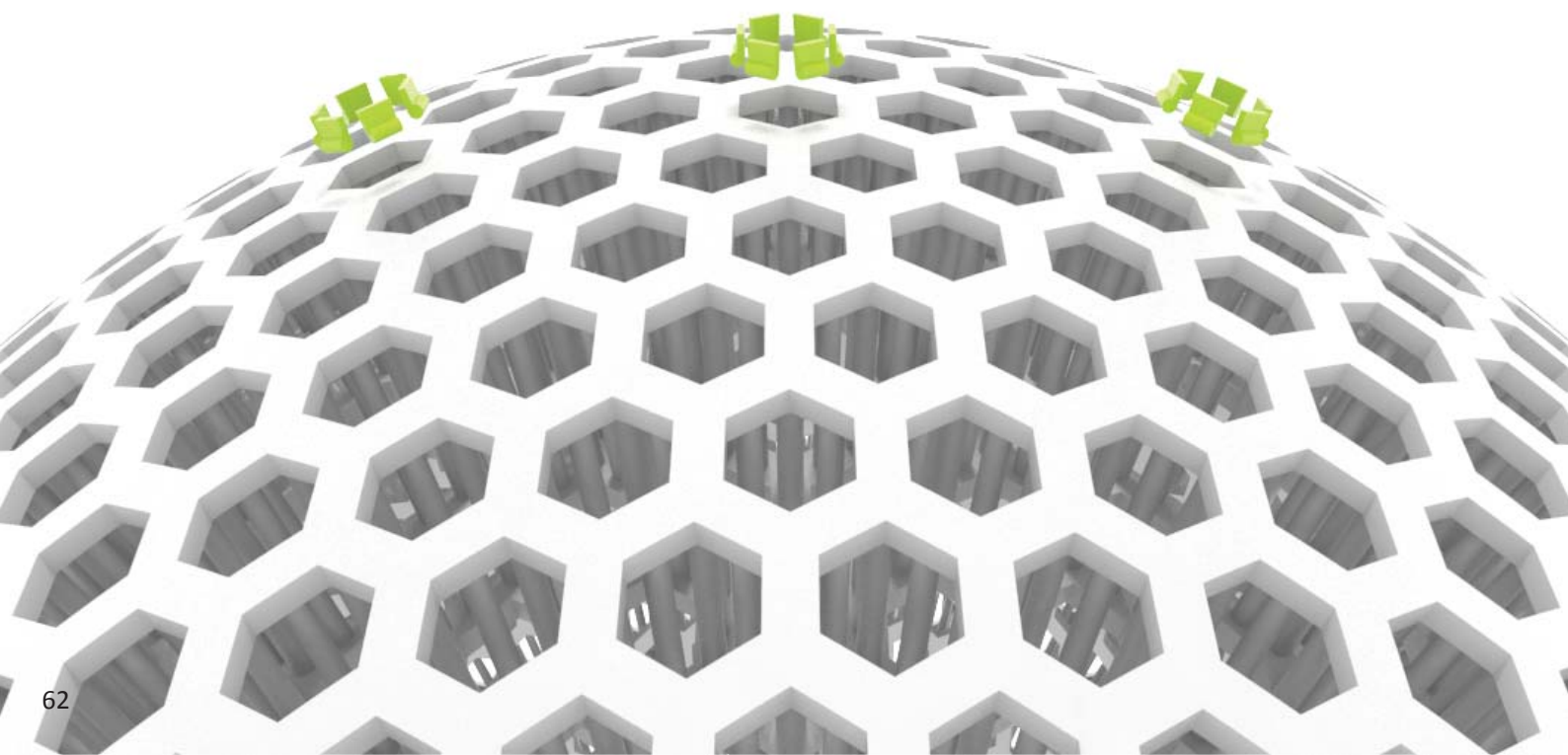


Nakonec jsem grafiku s renderem zasadil do fotografie, abych získal finální výsledek rozšířené reality.





Posledním zásadním krokem bylo vyřešení připojení vnitřní vrstvy ke vnější skořepině. K tomu jsem se rozhodl využít šestiúhelníkového perforování vnitřní vrstvy. Jako spojení jsem použil zácvaky, na které se vnitřní vrstva natlačí. Šest takovýchto zácvaků jsem umístil po obvodu přilby a další tři jsem umístil nahoru. Tyto zácvaky plní funkci dodatečného zajištění, jelikož při jízdě je vnitřní část k vnější skořepině připevněna hlavně přitlakem způsobeným utažením pásku a tvarovou podobností na sebe přiléhajících ploch. Doplněné o tyto přidání zácvaky by měly být k sobě vrstvy dostatečně upevněny.



4. Finalizace

V poslední fázi jsem se pokoušel doladit některé detaily, se kterými jsem nebyl stoprocentně spokojen. Jednalo se o některé mírné tvarové nepřesnosti a barevné úpravy. Celou přilbu jsem od začátku ladil do tmavě šedé barvy odstín Jet Black, ke které jsem chtěl použít kontrastní světle zelenou odstín Bitter Lime. Tu jsem používal hlavně pro zvýraznění některých prvků, jako je například boční pruh. Ten gradientně mění barvu ze zelené do tmavě šedé, čímž vzniká v přední části pomyslná návaznost na zelenou vnitřní vrstvu. Prvek pruhu s gradientem jsem se nakonec rozhodl použít i v zadní části. Tu jsem předělal a zjednodušil aby esteticky více korespondovala s přední částí. Hlavní změnou bylo odstranění perforovaného úkosu, který zakrýval senzoriku a jeho nahrazení jednoduchým matným plexisklem, které funguje jako difuzor pro světelné diody za ním. Tímto jsem také opticky odlehčil přilbu.

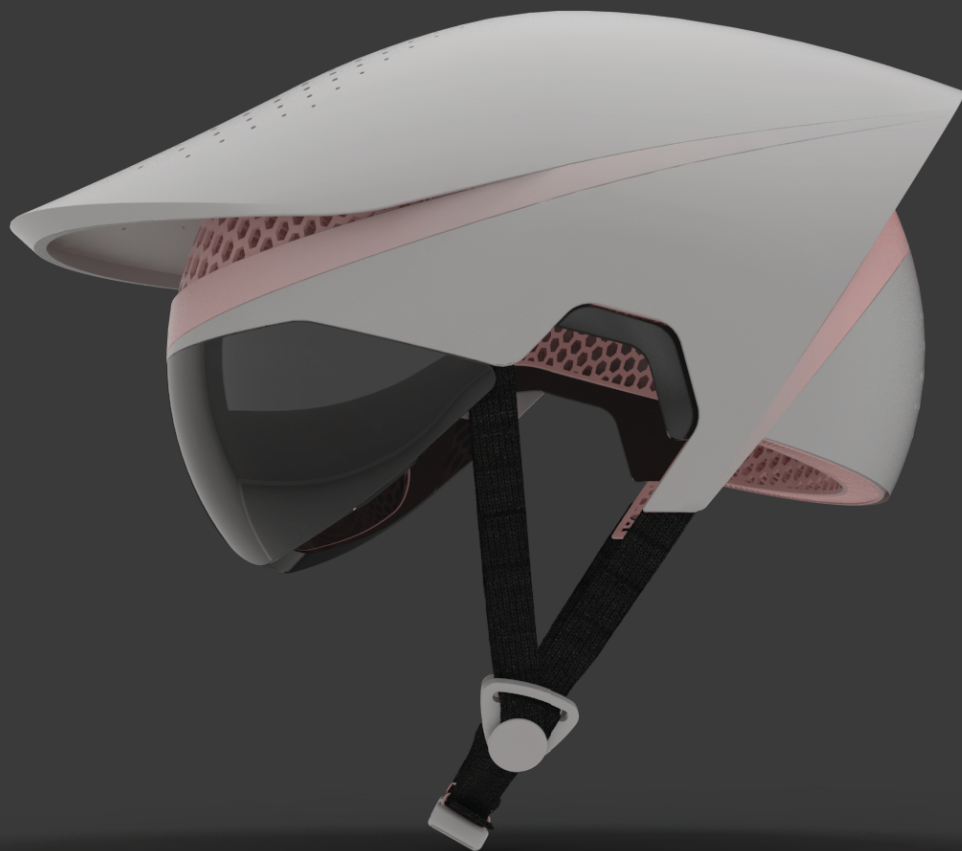


Další zásadní změnou byla změna perforací v přední části přilby. Perforace jsem předělal aby měly kruhový tvar a korespondovaly se strukturovanou vnitřní částí. Toho jsem dosáhl získáním os děr vnitřní části. Tyto osy jsem následně použil jako osy pro nové perforace. Tyto perforace se také zmenšují od středu obalsti perforací.



Poslední změnou bylo protažení skla vizoru k vnější skořepině přilby, čímž jsem docílil optické návaznosti těchto prvků. Naopak barvu rámu brvíl jsem změnil na zelenou, abych je iasně odlišil od vnější skořepiny.





Rozhodl jsem se ještě vytvořit alternativní barevnou kombinaci přilby. Hlavní barvou je bílá, kterou doplňuje růžová odstín Baby Pink. Barva rámu brýlí je černá.



Finální vizualizace vypadají takto.

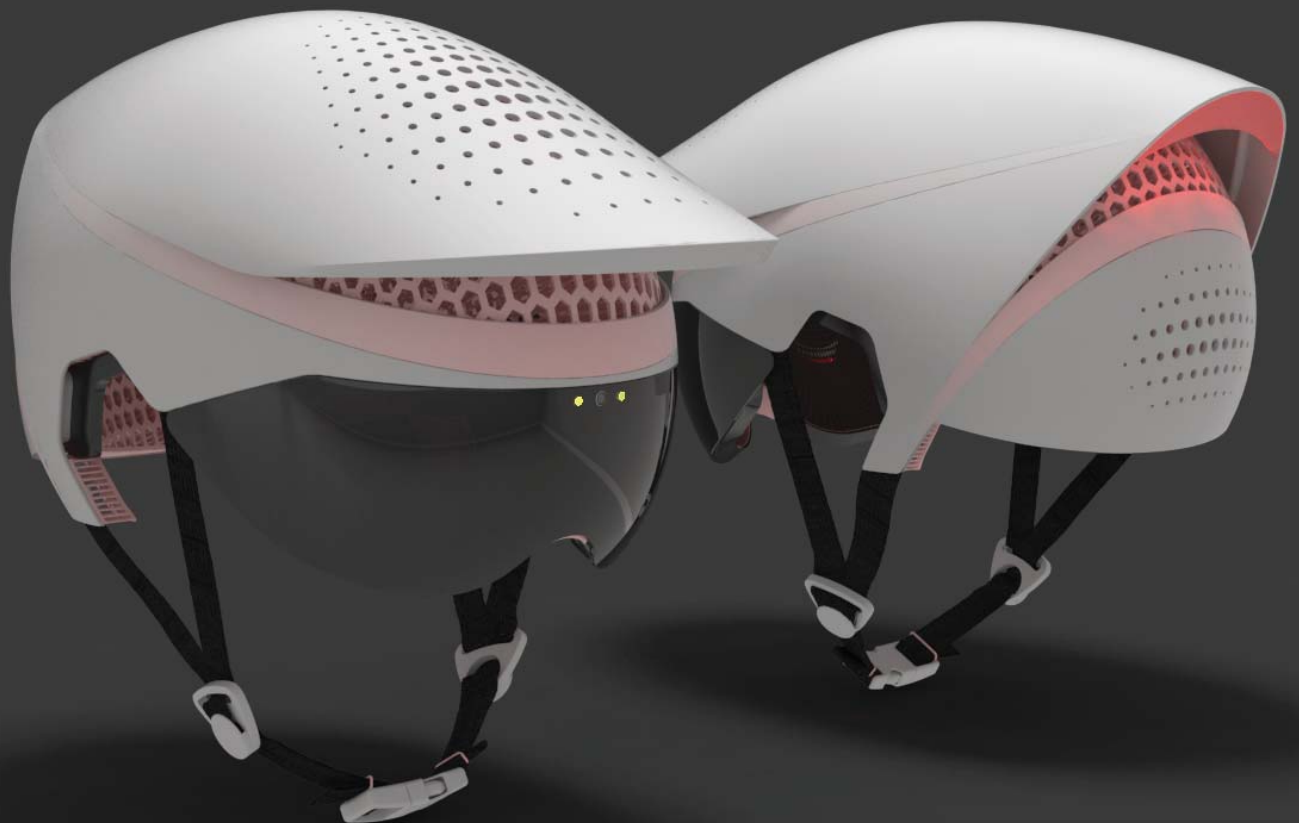








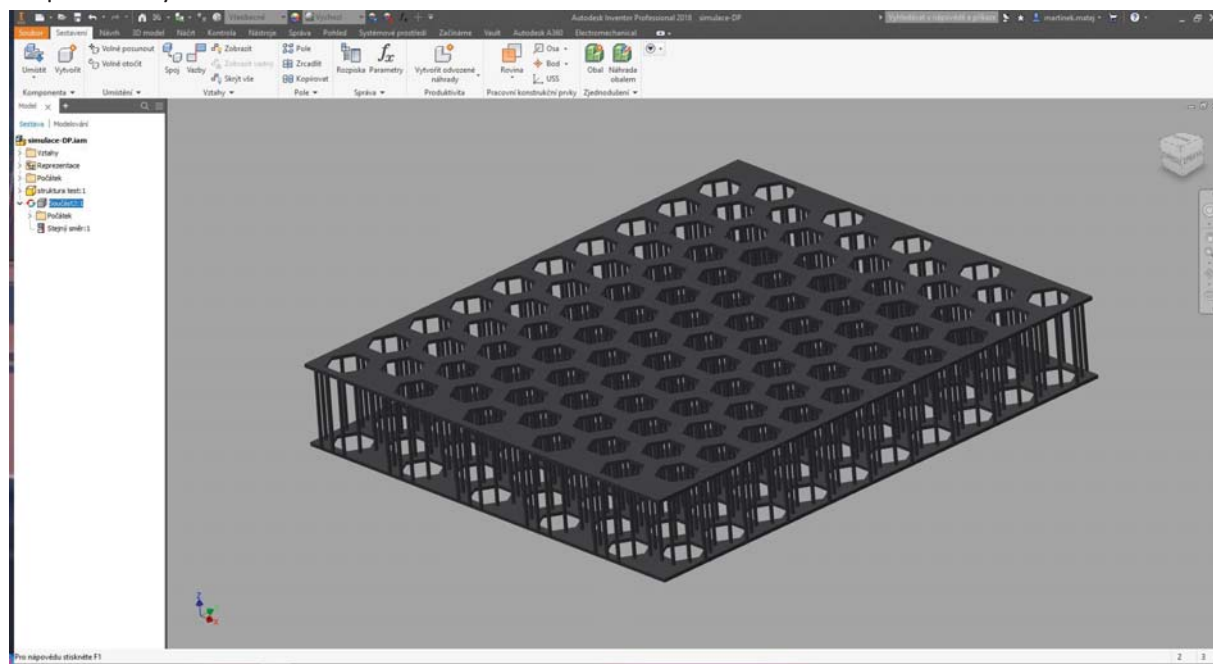




5. Výpočet

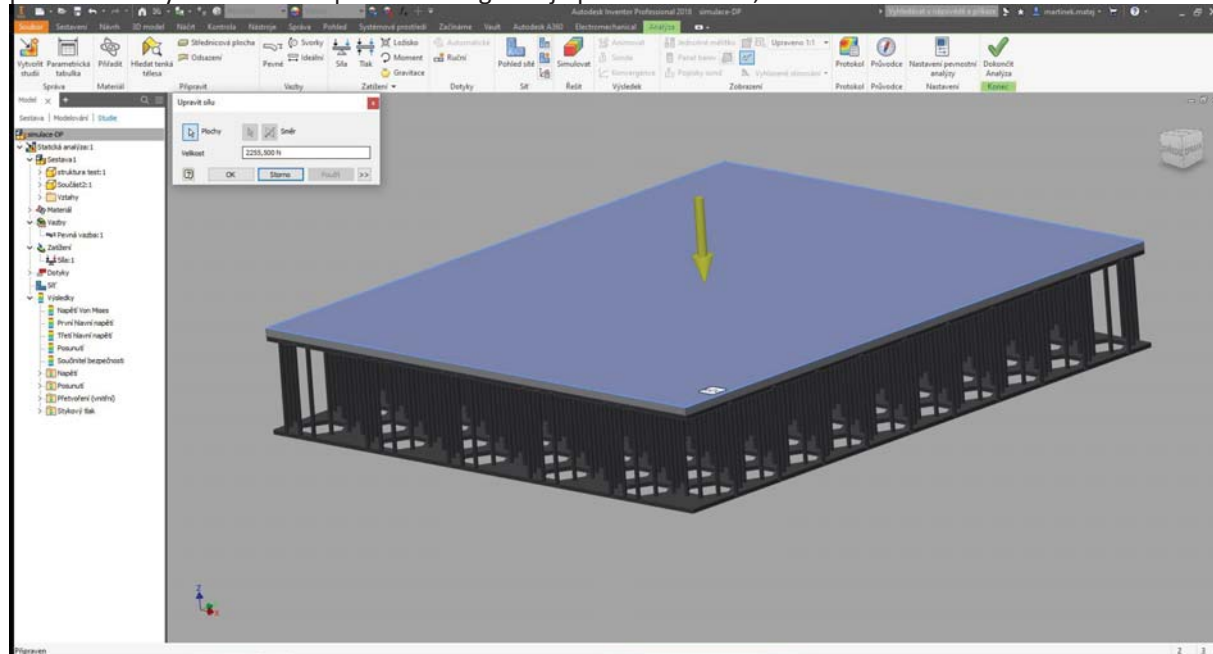
5.1 Pevnostní analýza

Prvním výpočtem jsem se rozhodl zjistit, jak se bude chovat mnou navržená struktura při zatížení, odpovídající klasickému testování přileb. Pro tuto analýzu jsem se rozhodl požit software Autodesk Inventor 2018. Kvůli limitaci softwaru, ale také mých zkušeností s ním jsem se místo samotného modelu struktury rozhodl analýze podrobit rovinný vzorek této struktury. Tento vzorek měl rozměry 124 x 145,5 mm a jeho výška a tloušťka pilířků odpovídala nejkritičtějšímu místu struktury tj. výška je 20 mm a tloušťka pilířku je 1 mm. Pro tento vzorek jsem vytvořil materiál TPU, jehož parametry jsem získal z katalogu Thermoplastic Polyurethane Elastomers.

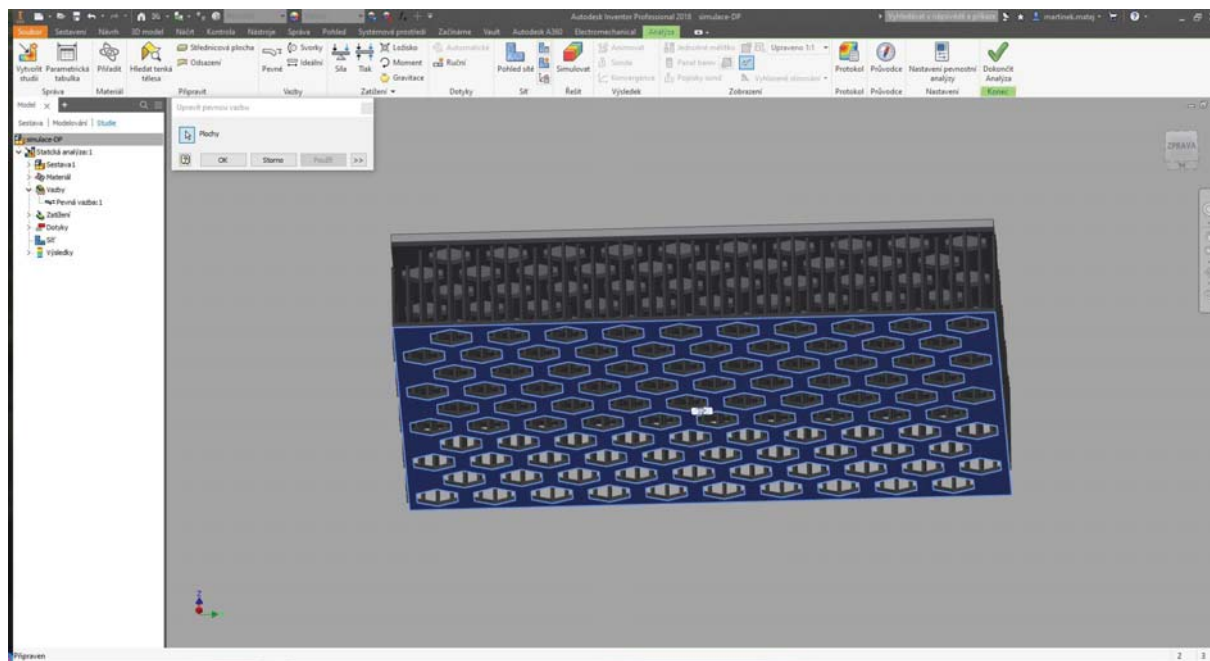


Na strukturu jsem vymodeloval 2mm desku, která má simulovat skořepinu. Této desce jsem přiřadil materiál PAEK, což je materiál jehož vlastnosti se podobají materiálu PA11. Jelikož tuto desku používám hlavně pro rozložení síly do struktury, je tato volba dostačující.

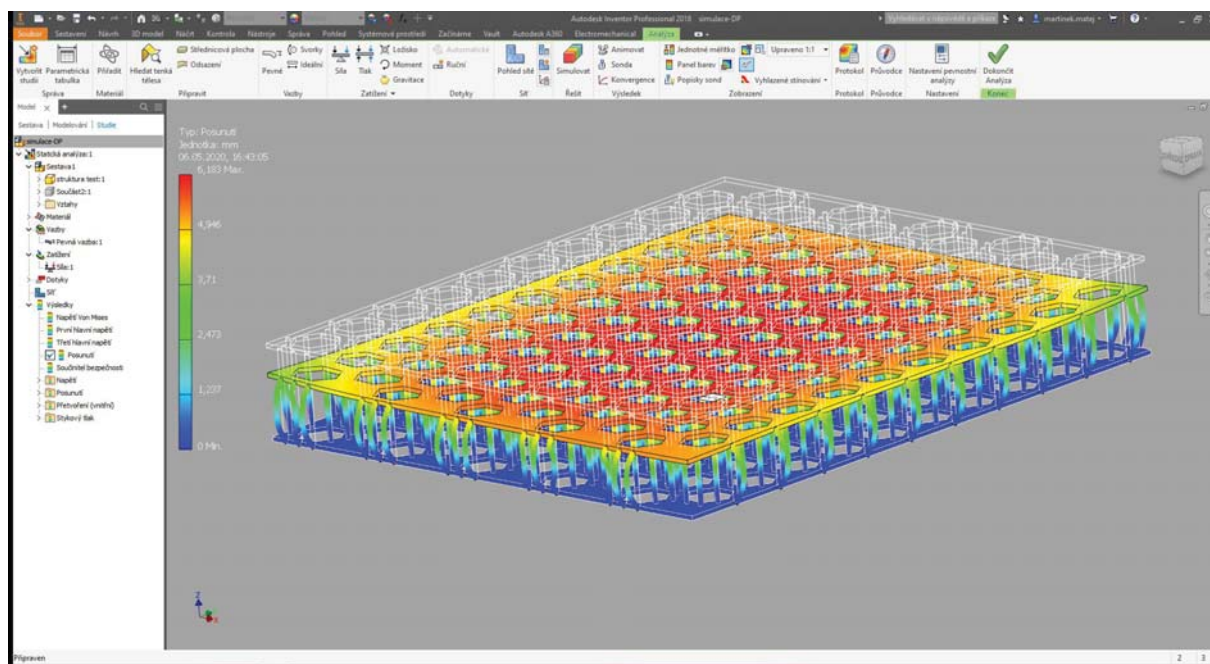
Na tuto desku jsem umístil sílu. Sílu jsem volil podle článku Performance analysis of the protective effects of bicycle helmets during impact and crush tests in pediatric skull models. Z tohoto článku vychází, že při testování cyklistických přileb, do kterých je vložen model lebky, je maximální vyvinutá síla, která nezpůsobí porušení lebky 470 lbf. To odpovídá 230 kgf což je přibližně 2255,5 N.



Strukturu jsem zavazbil pevnou vazbou na její spodní ploše a dotyk mezi skořepinou a stukturou jsem volil vázaný.



Po dokončení simulace mi vyšlo, že struktura se deformovala do sebe o přibližně 6,18 mm. Jelikož jsem očekával deformaci mezi čtvrtinou a třetinou výšky vzorku tj. interval mezi 5 mm a 6,7 mm, byl jsem spokojen s výsledkem.



Za zmínku ovšem stojí, že ačkoliv by tento výsledek mohl odpovídat reálné deformaci, kvůli limitaci softwaru a mých schopností by tomu tak nemuselo být. Pro ověření výsledků by bylo záhodno použít jiný software, specializovaný na vytváření simulací. Dalším problémem tohoto výpočtu je to, že se jedná o rovinný vzorek. Pokud by se jednalo o kulovou plochu, výsledek by se mohl lišit. V neposlední řadě je problém se samotnou simulací materiálu TPU. Tento materiál se velice těžce simuluje, jelikož jde o termoplast a jako takový má vlastnosti proměnlivé na základě podmínek ve kterých se vyskytuje. Proto tuto analýzu považuji za spíše orientační a pro zjištění reálných deformací by bylo zapotřebí dalších simulací ve specializovaných softwarech.

5.2 Výpočet hmotnosti

Druhým výpočtem, kterému jsem se věnoval, byl výpočet hmotnosti. Tato vlastnost je pro cyklistické přilby důležitá, hlavně u přileb, které obsahují speciální strukturu. Ukázalo se totiž, že tyto přilby mají obecně větší váhu než přilby podobného typu bez sturur.

Pomocí příkazu _Volume jsem z Rhinoceros 5 získal objem stukturované vnitřní vrstvy.

$$V_1 = 237662,1 \text{ mm}^3 \quad (1)$$

Zjistil jsem objem materiálu TPU z internetových stránek <https://www.ulprospector.com/>.

$$\rho_1 = 1,25 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 0,00125 \text{ g} \cdot \text{mm}^{-3} \quad (2)$$

Potom lze použít vzorec pro výpočet hmotnosti.

$$m_1 = V_1 \cdot \rho_1 \quad (3)$$

Po dosazení hodnot vyšla hmotnost vnitřní vrstvy.

$$m_1 = 237662,1 \cdot 0,00125 = 297,1 \text{ g} \quad (4)$$

Následně jsem stejným způsobem postupoval při výpočtu hmotnosti vnější skořepiny. Nejprve jsem si zjistil objem skořepiny.

$$V_2 = 236108,7 \text{ mm}^3 \quad (5)$$

Hustotu materiálu PA11 jsem získala ze stránek <https://www.azom.com/>.

$$\rho_2 = 1,04 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3} = 0,00104 \text{ g} \cdot \text{mm}^{-3} \quad (6)$$

Opět použijeme vzorec pro výpočet hmotnosti.

$$m_2 = V_2 \cdot \rho_2 \quad (7)$$

Po dosazení hodnot získáme hmotnost vnější skořepiny.

$$m_2 = 236108,7 \cdot 0,00104 = 245,6 \text{ g} \quad (8)$$

Potom jednoduchým součtem získáme celkovou hmotnost přilby bez senzorů a brýlí.

$$m_{\text{cel}} = m_1 + m_2 = 297,1 + 245,6 = 542,7 \text{ g} \quad (9)$$

Přilba tedy váží přibližně 542,7 g. Při srovnání s běžnými přilbami podobného typu zjistíme, že ty váží obvykle mezi 450 g až 550 g. To znamená, že má přilba zapadá do tohoto intervalu. Také je ale zřejmé, že se váha blíží horní hranici intervalu, což znamená, že i mnou navržená struktura navyšuje hmotnost přilby.

6. Závěr

V diplomové práci jsem řešil návrh cyklistické přilby, založený na konstrukci pomocí 3D tisku a vycházející z parametrů 3D skenu.

Rešerše se zabývala přilbami, které využívají speciálních struktur, které vylepšují vlastnosti přilby. Pozornost se v rešerši upínala tedy hlavně na tyto struktury. Samotný proces návrhu začínal skicováním s občasným doplněním 3D modelováním v programu Rhinoceros 5 popř. Rhinoceros 6. V průběhu návrhu jsem prošel přes 4 hlavní návrhy, každý z nich jsem rozkresloval a rozpracovával. Poslední z nich jsem zvolil jako finální a dále jsem jej rozpracovával, a to převážně 3D modelováním. Dalším bodem návrhu bylo vytvoření studie slunečního svitu, podle které se řídilo umístění kšiltu.

Poté jsem se zvažoval použití chytrých senzorů v přilbě. Rozhodl jsem se pro využití, hlavně zařízení bluetooth pro spojení se smartphonem, který by fungoval jako hlavní ovládací prvek. Dále jsem zvážil použití přídavných senzorů například pro určení stoupání kopce nebo tepu cyklisty. Část senzorů jsem umístil na odnímatelné brýle, které by s přilbou byly spojeny plošným kontaktem. Tyto brýle by zároveň fungovaly jako plocha pro projekci rozšířené reality. Rozhraní rozšířené reality jsem vytvořil v grafických programech Adobe Illustrator CS3 a Adobe Photoshop CS3. Návrh jsem založil na studii umístění prvků rozšířené reality. Zároveň jsem musel vytvořit ergonomickou studii vidění uživatele, abych zjistil správné umístění prvků do příslušných oblastí vidění.

V konečné fázi návrhu jsem testoval barevné kombinace a vytvořil jsem finální vizualizace pomocí zásuvného modulu V-ray 2 pro Rhinoceros 5.

Závěrem jsem se věnoval výpočtům. Jednalo se o pevnostní analýzu vzorku struktury. Z výpočtu vyšlo, že se struktura deformuje tak, jak jsem si to představoval. K této analýze ale nebyl použit vhodný software a také nebyla zvolena odpovídající geometrie finálního produktu. Proto je tento výpočet spíše orientační a pro zjištění reálných deformací by bylo zapotřebí dalších simulací ve specializovaných softwarech.

Druhý výpočet se zabýval váhou přilby. Tato váha přibližně odpovídala hmotnosti jiných přileb podobného typu. Její váha je přibližně 542,7 g, což se blíží k vyšším hodnotám vah podobných přileb.

V příloze je umístěn výrobní výkres průvlečné spony a výkres sestavy.

7. Seznam použitých zdrojů

7.1 Seznam použité literatury

VSB-TUO, FAKULTA STROJNÍ. Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce. Ostrava: Vysoká škola báňská — Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, 2015—. Identifikační znak FS_SME_05_003. Dostupné z: http://iso.fs.vsb.cz/SME/FS_SME05_003_VypracovaniDPBP.pdf

TEDESCHI, Arturo a Fulvio WIRZ. AAD Algorithms-Aided Design: Parametric Strategies Using Grasshopper. Brienza: Le Penseur Publisher, 2014. 496 s. 978-88-95315-30-0.

Polyamide 11 - Nylon 11 - PA 11. In: AZO Materials [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=436>

TOBIAS A. MATTEI, M.D., BRANDON J. BOND, B.A., CARLOS R. GOULART, B.S., CHRIS A. SLOFFER, M.D., M.B.A. a JULIAN J. LIN, M.D. Performance analysis of the protective effects of bicycle helmets during impact and crush tests in pediatric skull models: Laboratory investigation. Journal of Neurosurgery Pediatrics [online]. 2012, October 2, 2012, 2012(10), 7 [cit. 2020-05-12]. DOI: 10.3171/2012.8.PEDS12116. Dostupné z: <https://thejns.org/downloadpdf/journals/j-neurosurg-pediatr/10/6/article-p490.pdf>

Thermoplastic Polyurethane Elastomers: Elastollan® – Material Properties. BASF: We create chemistry [online]. September 2017, 2017, 52 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: http://www.polyurethanes.basf.de/pu/solutions/elastollan/en/function/conversions:/publish/content/group/Arbeitsgebiete_und_Produkte/Thermoplastische_Spezialelastomere/Infomaterial/elastollan_material_uk.pdf?fbclid=IwAR040tmYzpLiVq-c1y-2ValVZmbfjpurFRIVUfMhRFLhCuHZzjieNJrjxYQ

Thermoplastic Polyurethane (TPU) Typical Properties Generic TPU-Polyether - Barium Sulfate. In: Prospector [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://plastics.ulprospector.com/generics/54/c/t/thermoplastic-polyurethane-tpu-properties-processing/sp/11>

How Much Does It Weight. In: How Much Does It Weight? [online]. [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <http://howmuchdoesitweigh.blogspot.com/2009/07/bicycle-helmet-weighs-550-grams-or-194.html>

7.2 Použité obrázky

[1] Cyklistická přilba HEXR [online]. In: Curventa. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.curventa.com/hexr>

[2] Příklady buněčných struktur [online]. In: Hexr. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://hexr.com/pages/engineering>

[3] Cyklistická přilba HEXR [online]. In: Hexr. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://hexr.com>

[4] Honeycomb Structure [online]. In: Hexr. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://hexr.com/pages/engineering>

[5] Cyklistická přilba kupol [online]. In: 3d Natives. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.3dnatives.com/casque-de-velo-imprime-en-3d-011020183/>

[6] 3D KORE™ [online]. In: Kupol. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.kupol.ca/en/>

[7] KINETIC BUMPER™ [online]. In: Kupol. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.kupol.ca/en/>

[8] OCTOPUS™ [online]. In: Kupol. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.kupol.ca/en/>

[9] Cyklistická přilba SMITH [online]. In: Smith Optics. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.smithoptics.com/us/ignite-bike-helmet>

- [10] Konstrukce přilby SMITH [online]. In: Smith Optics. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.smithoptics.com/us/overtake>
- [11] Přilby SMITH [online]. In: Smith Optics. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.smithoptics.com/us/techbike>
- [12] Vložka koleního chrániče Endura [online]. In: Bike Rumor. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://bikerumor.com/2016/09/06/eb16-endura-dives-deeper-koroyd-tech-mt500-helmet-mtr-knee-pad/>
- [13] Systém MIPS® [online]. In: Smith Optics. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.smithoptics.com/us/techbike>
- [14] Zatížení mozku [online]. In: Smith Optics. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://www.smithoptics.com/us/techbike>
- [15] Cyklistická přilba TREK [online]. In: Trek Bikes. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://www.trekbikes.com/cz/cs_CZ/wavecel/
- [16] Struktura WaveCel [online]. In: Trek Bikes. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://www.trekbikes.com/cz/cs_CZ/wavecel/
- [17] Vysvětlení funkce WaveCel [online]. In: Trek Bikes. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://www.trek-bikes.com/cz/cs_CZ/wavecel/
- [18] Zatížení mozku [online]. In: Trek Bikes. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://www.trekbikes.com/cz/cs_CZ/wavecel/
- [19] Přilba TREK [online]. In: Trek Bikes. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: https://www.trekbikes.com/cz/cs_CZ/wavecel/
- [20] Placement of controls on peripheral vision [online]. In: Prototypr.io. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <https://blog.prototypr.io/6-problems-ui-ux-in-ar-7942af4a9118>
- [21] ŠTEMPÁK a CHALUPSKÝ. Orientace v interiéru: Zorný úhel člověka [online]. In: NIS. [cit. 2020-05-09]. Dostupné z: <http://www.n-i-s.cz/cz/orientace-v-interieru/page/515/>

7.3 Použité grafické programy

Rhinoceros 5 + V-Ray 2

Rhinoceros 6 + Grasshopper

nTopology Element free

Adobe Photoshop CS3

Adobe Illustrator CS3

Adobe InDesign CS6

Autodesk Inventor 2018

Autodesk ScetchBook

7.4 Přílohy

Výkres sestavy a výrobní výkres průvlečné spony

Poděkování

Děkuji MgA. Petru Neničkovi a Ing. Tomášovi Kubínovi, Ph.D. za pomoc, cenné rady a trpělivost při zpracování mé diplomové práce.